تحلية المياه

طرق تحلية المياه المالحة

بداية التحلية و تاريخها و مراحل تطورها

تجري عمليات معالجة المياه لإزالة الملوحة بواسطة طرق مختلفة، بعضها معروف فكرته منذ قرون مضت،وبعضها حديثة. والطريقة الأكثر شيوعا لإزالة الملح من مياه البحر و التي ظلت مستخدمة لعدة قرون هي تحلية المياه ثم تكثيفها على أسطح باردة.

ونماذج المقطرات العاملة بالحرارة الشمسية تعود إلى القرن الماضي.

ولقد عرف الإنسان تحلية مياه البحر منذ العصور القديمة، ففي القرن الرابع الميلادي أمكن العثور على أدلة تفيد استعمال الإنسان لطريقة التبخير للحصول على ماء للشرب.

ولقد حدد جابر بن حيان قواعد التقطير وصنفها في أواخر القرن السابع الميلادي، كما أن العالم المسلم أبا منصور الموفق بن علي الحروي قال منذ ذلك الزمان:"إن التبخير هو الوسيلة للحصول على ماء عذب". و على أية حال،فإن أول محطة بدائية لتحلية المياه كانت في تونس في عام ١٦٥٠م، ثم أخذت عجلة التطوير في مجال تحلية المياه المالحة بالتقطير تزداد مع دخول عصر الصناعة عام ١٨٠٠م و ما بعدها.

وفي القرن التاسع عشر أثبت تقطير مياه البحر في الناقلات العابرة المحيطات جدواه اقتصاديا، حيث يقل في العادة وزن الوقود و محطة التبخير عن وزن المياه العذبة التي يجب أن تحملها الناقلة في حالة عدم وجود محطة للتبخير، وذلك لأن رحلاتها تستغرق زمنا طويلا في السفر بعيدة عن اليابسة.

أما أول محطة تحلية كبيرة بسعة ٦٢٥٠٠٠ جالون يوميا، فقد أنشأتها شركة غريسكوم- راسل الأمريكية في جزر الأنتيل الهولندية في عام ١٩٣٠م.

ولقد تزامن هذا مع جهود كثير من العلماء للبحث عن طرق أخرى للتحلية غير طريقة التقطير، فسجلت براءة اختراع عام ١٩٣٦م لكل من العالمين وولف ومار (WOLF AND MARR) اللذين اكتشفا إمكانية الحصول على الماء العذب بالتبريد.

و في الأربعينيات و خلال الحرب العالمية الثانية جاءت الخطوة العظمى في تطوير تقنية تحلية المياه المالحة، عندما احتاجت مؤسسات عسكرية عديدة في أماكن قاحلة لإمداد فرق جنودها بالماء. و عندئذ عرف على نطاق واسع الإمكانيات التي قدمتها التحلية، واستمر العمل بعد الحرب في هذا المجال في أقطار شتى.

وفي عام ١٩٥٠م اخترع البروفسور سيلفر طريقة التبخير الومضي المتعدد المراحل.

وقد أجريت أبحاث عديدة للبحث عن طرق أخرى لتحلية المياه المالحة أسفرت فيما بعد عام ١٩٥٠م عن اكتشاف طريقة التناضح العكسي بواسطة العالمين لوب و سوريراجان.

وكذلك تم اكتشاف طريقة الفرز الغشائي الكهربائي.

كما كانت هناك جهود مكثفة من جانب الحكومة الأمريكية من خلال إنشاء مكتب المياه المالحة في أوائل الخمسينيات، و تبعه مكتب أبحاث وتقنية المياه و قد مولت الحكومة الأمريكية الأبحاث الأساسية و التطوير لمختلف التقنيات في مجال تحلية مياه البحر المالحة و مياه الآبار المويلحة.

وفي أواخر الستينيات- وفي أماكن متعددة من العالم- بدأ العمل في تركيب وحدات تحلية لمرافق المياه بسعة تصل إلى ٨٠٠٠ متر مكعب من المياه المحلات يوميا (أي ما يعادل ٢ مليون جالون يوميا). و كان معظم هذه الوحدات تدار بالطاقة الحرارية لتحلية مياه البحر، غير أنه في خلال السبعينات بدىء في استخدام عمليات الأغشية تجاريا لتحلية المياه.

وعندما أدخلت طريقة الفرز الغشائي الكهربائي لتحلية مياه الآبار المويلحة، اتضح أنها أكثر اقتصادية ووجدت لها تطبيقات،وبالمثل فإن طريقة التناضح العكسي استخدمت في البداية لتحلية مياه الآبار المويلحة، غير أنها برهنت على صلاحيتها لمياه البحر أيضا.

وفي الثمانينيات صارت تقنية التحلية عملا تجاريا مكتملا. و قد استفادت تقنية التحلية من خبرة التشغيل، و التي تم الحصول عليها من الوحدات التي تم إنشاؤها و تشغيلها في العقود الماضية.

التحلية بالتبخير الومضي

طريقة التحلية بالتبخير الومضي

تعتمد طريقة التحلية بالتبخير الومضي (حسب اسمها) على عملية التبخير الومضي (flashing) أي يلزم تسخين الماء المالح إلى درجة حرارة أعلى من درجة الغليان (عند ضغط معين) ثم فجأة يضخ هذا الماء المالح الساخن إلى غرفة عند ضغط أقل من ضغط الغليان ، فيحدث التبخير الفجائي (الومضي) ويتكون البخار والذي يتم تكثيفه ليصبح الماء المنتج.

الشكل (١) يوضح غرفة تبخير ومضي عند ضغط محدود وثابت ويدخل المحلول الملحي (ماء البحر الساخن) عند درجة حرارة أعلى من درجة الغليان لضغط الغرفة فيحدث التبخير الفجائي (الومضي). ويسحب البخار حرارة التبخير من المحلول الذي تصل درجة حرارته إلى درجة الغليان (أو التشبع) ، ويخرج ماء البحر الساخن بعد ذلك من الغرفة بعد أن أتم مهمته بأن ترك كمية من البخار. يصعد البخار لأعلى ليقابل مجموعة من أنابيب التكثيف باردة السطح (وعادة ما يكون بداخلها ماء البحر للتبريد ، وهو نفسه المحلول الملحي الذي سيدخل إلى الغرفة بعد تسخينه كما سيذكر لاحقاً) وعليه يتكثف البخار إلى ماء مقطر (distillate) ويتم تجميعه وخروجه كماء منتج(product water) للاستفادة منه.

نظراً لأن عملية التبخير الومضي تدفع بالبخار لأعلى فجأة، فكثيراً ما يحمل هذا البخار معه بعض القطرات الصغيرة من المحلول الملحي. لذا عادة ما توضع شبكة (مصفاة) من الصلب لفصل هذا البخار عن قطرات المحلول الملحي وتسمى فاصل الرذاذ (demister) وتتجمع قطرات المحلول الملحي على المصفاة ، ثم تسقط مرة ثانية إلى قاعدة الغرفة مع باقي المحلول لذا فأهمية هذه الشبكة هي خروج البخار شبه نقي من الماء المالح ، ومن ثم يكون ماء مقطراً خالياً من الأملاح .

شرح وحدة تحلية تعمل بالتبخير الومضي متعدد المراحل M.S.F

تعتمد كفاءة أي محطة تحلية على كيفية الاستفادة القصوى من الطاقة المتاحة لها، كما تعتمد اقتصادياتها على أقل مساحة لأسطح انتقال الحرارة (غالية الثمن). وكلما زادت الاستفادة من الطاقة لإنتاج كمية ماء أكبر أو لتسخين المحلول ثانية كلما انخفض سعر إنتاج الماء . وتتكون وحدة التبخير الومضي متعددة المراحل (multi stage flash-MSF) من مجموعة ملتصقة من غرف التبخير الومضي ، والتي سبق شرحها في الشكل (١) ، بحيث إن الحرارة التي يحملها البخار يمكن بها تسخين ماء البحر (ماء التغذية) . كما أن المحلول الملحي الخارج من غرفة التبخير الومضي يمكنه إنتاج كمية أخرى من البخار بخفض الضغط أكثر وأكثر في مراحل (غرفة تبخر) أخرى ، ومن ثم تسمى الوحدة متعددة المراحل (multi stages).

والشكل (١) يبين نموذج لوحدة تحلية بالتبخير الومضي متعدد المراحل (MSF) وفيه يدخل ماء مالح من البحر عند النقطة (١) إلى داخل مواسير التكثيف (أعلى غرفة التبخير الومضي) . ويقوم الماء المالح من البحر بتبريد أنابيب المكثف (لتكثيف البخار الناتج في كل غرفة) ويمتص حرارة التكثيف للاستفادة منها في رفع درجة حرارته إلى نقطة (٢) وعند النقطة (٢) يدخل الماء المالح مسخن المحلول الملحي brine heater لرفع درجة حرارته إلى درجة أعلى من درجة غليان المحلول. ويخرج الماء المالح من مسخن المحلول الملحي عند نقطة (٣) وهذه هي أقصى درجة حرارة للماء المالح في الدائرة وتسمى top brine temperature (TBT) ، والتي قد تصل من (٩٠- ١٢٠ م) . ويجب أن يكون الماء المالح عند ضغط أعلى من الضغط المناظر لدرجة غليان الماء عند درجة TBT ، حتى لا يغلي الماء قبل دخوله غرفة التبخير الومضي ، ومنها يدخل إلى أول غرفة تبخير ومضي .

عند النقطة (٣) يدخل المحلول الملحي (الساخن عند (٩٠- ١٢٠ م)) إلى أول غرفة تبخير ومضي ، وضغطها يكون أقل قليلاً من الضغط المناظر لدرجة الغليان عند درجة TBT (أي درجة الغليان في الغرفة أقل من (٩٠ م - ١٢٠ م) .ونظراً لأن الماء المالح الساخن تكون درجة حرارته أعلى من درجة الغليان للغرفة (ماء فوق الغليان superheated water)، فإنه فور دخوله الغرفة (من خلال بوابات) يحدث عملية التبخير الفجائي (الومضي) flashing ويتبخر جزء من الماء إلى بخار يصعد لأعلى ويتكثف على أسطح أنابيب المكثف (الباردة) عند النقطة (٤) ، وتنتقل حرارة التكثف إلى الماء المالح داخل أنابيب المكثف للاستفادة منها كما سبق ذكره.

يمتص البخار الصاعد حرارة تبخيره من الماء المالح (المحلول الملحي) ، في قاعدة الغرفة حيث يبرد إلى درجة حرارة الغليان (التشبع) عند الغرفة (المرحلة) الأولى نقطة رقم (٥) . فإذا استطعنا عمل

تخلخل في ضغط الغرفة (المرحلة) الثانية ، وخفض الضغط إلى ضغط أقل من ضغط الغرفة الأولى فهذا معناه أن المحلول الملحي الخارج من الغرفة الأولى ، نقطة (٥) ، يكون ماء فوق الغليان superheated water ، أي أن درجة حرارته أعلى من درجة غليان ضغط الغرفة الثانية وعليه فإنه فور دخوله إلى الغرفة الثانية يحدث تبخير ومضي ثاني (حتى يحدث التوازن) وتنخفض درجة حرارة المحلول إلى درجة تشبع الغرفة الثانية ، نقطة (٦) ، وينتج عن هذا تبخر كمية جديدة من البخار ، والذي يصعد ويتكثف على أسطح المكثف في الغرفة الثانية ، نقطة (٧) ، ويعطي البخار (الأقل درجة حرارة) حرارة التكثيف إلى الماء داخل أنابيب المكثف . وهكذا تكرر العملية في مجموعة المراحل (متعددة المراحل) ، وكل غرفة تنتج كمية إضافية من البخار (الماء المقطر) لتتجمع جميع الكميات كمنتج للوحدة ، ويخرج من فتحة خروج الماء المنتج ، نقطة (٨) كما يخرج باقي المحلول الذي لم يتبخر إلى مضخة طرد الرجيع ، نقطة (٩) .وعادة ما تكون عدد المراحل في الوحدات الكبيرة من ١٥ – ٢٥ مرحلة .

وتسمى هذه الطريقة بطريقة الاتجاه الواحد once through وفيها يدخل ماء البحر ويسخن (بامتصاص حرارة التكثف للبخار المنتج من غرفة التبخر الومضي) ، ثم يدخل إلى مسخن المحلول الملحي ومنه إلى غرفة التبخيرالومضي للاستفادة من حرارته لإنتاج الماء المقطر ومنه إلى البحر ثانيه. في هذه الطريقة يلزم معالجة كل كمية ماء البحر الداخل للوحدة كماء تغذية (تعالج بإزالة الغازات الذائبة لماء البحر ، وإضافة الكميات الكبيرة من موانع الترسيب وموانع التآكل وغيرها ....) وهذه كمية كبيرة من الماء (حوالي عشرة أضعاف معدل الإنتاج). وهذا يسبب زيادة في تكاليف التشغيل للمحطة . لذا طور الخبراء طريقة أخرى وهي إعادة دوران المحلول.

إعادة دوران المحلول (brine recycle) في وحدات التبخير الومضي.

هذه طريقة يمكن بها تقليل الكميات الكبيرة من ماء التغذية الداخلة للوحدة ، وتسمى طريقة إعادة الدوران (recirculation method) أو دوران المحلول (brine recycle) ، الشكل (٣) في هذه الطريقة تقسم الوحدة إلى جزأين ، الأول يسمى جزء (منطقة) استعادة الحرارة (heat recovery section)، والآخر يسمى جزء منطقة طرد الحرارة heat rejection . في هذه الطريقة يدخل ماء البحر (ماء التبريد cooling water) ، نقطة (١) إلى جزء طرد الحرارة (من خلال أنابيب التكثيف - لتكثيف البخار في هذا الجزء فقط ويتم طرد معظم هذا الماء إلى البحر ثانية ، نقطة (٢) . ويستخدم فقط جزء صغير (حوالي ضعف إنتاج الوحدة) ، نقطة (٣) ، كماء التغذية للوحدة يسمى ماء التعويض (make-up water) ، ويضاف عادة إلى الغرفة الأخيرة لوحدة التبخر الومضي بعد أن يمر

على وحدة معالجة أولية (pre-treatment) ، طارد الهواء (deaerator) . ويضاف لماء التغذية بعض الكيماويات اللازمة لمنع الترسبات ومنع التآكل وغيرها .

وبعد طرد كمية من ماء المحلول في الغرفة الأخيرة ، نقطة (٤) ، (يسمى ماء المحلول المطرود reject/rejected brine أو بماء الصرف blow down) يختلط ماء التغذية هذا مع باقي المحلول الملحي في الغرفة الأخيرة ، نقطة (٥) ، ويعاد دوران الاثنين معاً ، نقطة (٦) ، إلى الجزء الثاني من الوحدة وهي منطقة استعادة الحرارة heat recovery section ليقوم بعملية التكيف للبخار المنتج داخل هذا الجزء ويستعيد حرارة التكثيف ليسخن تدريجياً حتى يخرج عند النقطة (٧) . يسخن المحلول في مسخن المحلول الملحي حتى نقطة (٨) لأعلى درجة حرارة TBT ، ومنه إلى غرفة التبخر في جزء استعادة الحرارة حتى نقطة (٩) ، ومن منطقة استعادة الحرارة يخرج المحلول الملحي إلى غرفة التبخر في جزء طرد الحرارة نقطة (١٠) حيث يطرد جزء منه عند نقطة (٤) الجزء الأكبر يخلط بماء التغذية (ماء التعويض) لتعود الدورة الثانية. ومن ناحية أخرى يخرج الماء المنتج عند نقطة (١١) ومنه إلى المضخة وخزانات الماء المنتج ..

وتقلل طريقة إعادة الدوران (recirculation method) من كمية ماء البحر المستخدمة لتغذية الوحدة (إلى حوالي ضعف الماء المنتج فقط ، بدلاً من عشرة أضعافه كما في طرقة الاتجاه الواحد السابقة) ، وعليه تقل كمية المواد المضافة للمعالجات الكيماوية لماء التغذية وتقل بذلك تكاليف معالجة هذا الماء . إلا أنه يعيبها ارتفاع جزئي في درجة ملوحة المحلول الملحي في أنابيب التكثف في جزء استعادة الحرارة (heat recovery section) ، ومسخن المحلول الملحي (brine heater) . لذا يلزم ، أثناء التصميم التأكد من عدم زيادة نسبة الملوحة في المحلول المعاد دورانه إلى الحد الأعلى لتشبع الأملاح (حوالي ٦٠٠٠٠ جزء في المليون) والذي يسبب زيادة في معدلات ترسب الأملاح داخل الأنابيب . والجدير بالذكر أن هذا النوع من وحدات التحلية هو الشائع حالياً في محطات التحلية في معظم دول العالم.

المواصفات الفنية لوحدات التحلية بالتبخر الومضي متعدد المراحل

الجدول (١) يعرض المواصفات الأساسية لإحدى وحدات التحلية بالتبخر الومضي متعدد المراحل بسعة ٥٠٠٠ م ٣ / يوم والتي تعمل بمحطة كهرباء سيدى كرير – بالأسكندرية بمصر.

والجدول (٢) يعرض المواصفات الأساسية لوحدات التبخر الومضي سعة ٢٥٠٠٠ م٣/يوم (٥,٥ مليون جالون في اليوم) لمحطة الجبيل بالسعودية (المحطة بها ٤٦ وحدة وبذلك تمثل أكبر محطة تحلية في العالم) .

جدول (١) مواصفات وحدة تحلية بالتبخر الومضي بسعة ٥٠٠٠م٣/يوم

(محطة سيدى كرير – الاسكندرية – مصر)

المواصفات	القيمة	الوحدة
السعة الانتاجية	٥٠٠٠	م٣/ اليوم
معامل الأداء	٨- ٩	كجم ماء / كجم بخار
أعلى درجة حرارة للمحلول	١١٠	م
جودة الماء المنتج	٢٥	جزء في المليون
درجة حرارة ماء البحر التصميمية	٢٧	م
معدل سريان ماء البحر (للتبريد)	١٥٧٠	م٣/ الساعة
ملوحة ماء البحر التصميمية	٤٣٩٠٠	جزء في المليون
معدل دوران المحلول الملحي	١٨٤٧	م٣/ الساعة
ملوحة المحلول الملحي	٦٣٠٠٠	جزء في المليون
عدد المراحل	٢٠	مرحلة
عدد مراحل جزء استعادة الحرارة	١٧	مرحلة
عدد مراحل جزء طرد الحرارة	٣	مراحل
معدل سريان البخار	٢٥,٧	طن / الساعة
درجة حرارة دخول المحلول لمسخن المحلول	١٠١	°م
أقل درجة حرارة للمحلول (المرحلة الأخيرة)	٣٩,٢	°م
درجة حرارة خروج ماء التبريد	٣٨,١	°م
معدل سريان ماء التعويض	٥٤٥	طن / الساعة
معدل سريان المحلول المطرود	٣٣٧	طن / الساعة

جدول (٢) مواصفات وحدة تحلية بالتبخر الومضي بسعة ٢٥٠٠٠ م ٣ / اليوم

(محطة الجبيل – السعودية)

المواصفات	القيمة	الوحدة
السعة الانتاجية	٩٨٦	م٣/ اليوم
معامل الأداء	٣,٤٤	كجم ماء / ألف جول
أعلى درجة حرارة للمحلول (بولي فوسفات)	٩٠,٦	م
أعلى درجة حرارة للمحلول (إضافة كيمائية عالية)	١١٢,٨	م
جودة الماء المنتج	٢٥	جزء في المليون
درجة حرارة ماء البحر التصميمية	٣٥	م
ملوحة ماء البحر التصميمية	٤٦,٥٠٠	جزء في المليون
ملوحة المحلول عند مسخن المحلول	٦٥٠٠٠	جزء في المليون
ملوحة المحلول عند المحلول المطرود	٧٠,٢٤٥	جزء في المليون
عدد المراحل	٢٢	مرحلة
عدد مراحل جزء استعادة الحرارة	١٩	مرحلة
عدد مراحل جزء طرد الحرارة	٣	مرحلة

عناصر تقييم أداء وحدات التبخر الومضي متعدد المراحل

توجد عدة عناصر لتقييم أداء وحدات التحلية بالتبخر الومضي، منها السعة الانتاجية (كمية الماء المنتج في اليوم) ، معامل الأداء ، معامل الإنتاجية ، سعر إنتاج الماء ..... إلخ ويمكن تلخيص هذه العناصر كما يلي :

أ - كمية الماء المنتج :

يمكن حساب كمية البخار المتولدة في وحدة التبخر الومضي متعدد المراحل (وهي نفس كمية الماء المنتج) ، بقسمة كمية الطاقة الحرارية الداخلة للماء المالح على ما يسمى بالحرارة الكامنة للتبخر (عند ضغط التشغيل). أي :-

كمية البخار المتولد (كمية الماء المنتج) = كمية الحرارة الداخلة للماء

الحرارة الكامنة للتبخر

وكمية الحرارة الداخلة للماء (المحلول) المالح (والمتاحة لتبخره) تساوي حاصل ضرب معدل سريان الماء المالح × الحرارة النوعية للماء المالح × مجال التبخر flashing range (هو فرق درجات الحرارة بين أقصى درجة حرارة للمحلول الخارج من مسخن المحلول (TBT) ، وأقل درجة حرارة للمحلول عند آخر غرفة تبخير) أي أن :-

كمية الماء المقطر المنتج = معدل سريان المحلول المالح × الحرارة النوعية للماء المالح × مجال التبخر

متوسط الحرارة الكامنة للتبخر

وتقاس هذه الكمية بالطن / الساعة ، أو المتر المكعب / الساعة أو المتر المكعب / اليوم . وعلى سبيل المثال من الجدول (٤- ١) فإن معدل الإنتاج اليومي يحسب كالتالي :

كمية الماء المنتج = ١٨٤٧م٣/ الساعة × ٤,١٨ كجول / كجم.م × (١١٠ _ ٤٠) ْم

٢٢٨٣ كجول / كجم

ب- معامل الأداء :

يعتبر معامل الأداء Performance Ratio (P.R) من العناصر الهامة لتقييم كفاءة أداء وحدات التحلية الحرارية . وهذا المعامل هو عبارة عن النسبة بين كمية الماء المنتج وكمية الحرارة (الطاقة) الداخلة للوحدات ، أي أن : -

معامل الأداء = كمية الماء المنتج (كجم / الثانية)

كمية الحرارة الداخلة للوحدة (كيلو وات)

وتقاس بوحدات الكيلو جرام / كيلو جول أو كجم (ماء منتج)/ ألف كجول. وتستخدم أحياناً كنسبة بين كمية الماء المنتج وكمية البخار الداخل ، وتسمى في هذه الحالة نسبة الاستفادة Gain Output (over) Ratio (G.O.R).

نسبة الاستفادة (.G.O.R) = كمية الماء المنتج (كجم / ثانية)

كمية البخار الداخل للوحدة (كجم / ث)

وتقاس بوحدات كجم (ماء منتج) إلى كجم (بخار مستخدم) ، وتتراوح معامل الاستفادة بين ٧- ٩ . أي أن كل كيلوجرام من البخار ينتج من ٧ – ٩ كجم من الماء المنتج . ويلاحظ أن هذه النسبة لا تعتمد على عدد المراحل بل فقط على مجال التبخر الومضي (Flashing Range) ، ومعدل دوران المحلول . وعلى سبيل المثال من الجدول (٤- ١) فإن نسبة الاستفادة يمكن حسابها كالتالي :

نسبة الاستفادة = كمية الماء المنتج = ٢٤ / ٥٦٨٠ = ٩,٢

كمية البخار المستخدم ٢٥,٧

= معدل سريان المحلول × الحرارة النوعية × مجال

معدل سريان المحلول × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة لمسخن المحلول

= مجال التبخر ÷ فرق درجات الحرارة لمسخن المحلول =

[١١٠- ٣٩,٢] ÷ [١١٠ — ١٠١,٧] = ٩,٥

ويلاحظ أن هذه الفروق نتيجة للتقريبات المستخدمة في هذه الأمثلة.

ج - معامل الإتاحية :

من المعاملات الهامة لتقييم أداء التشغيل للوحدات هو معامل الإتاحية (Availability Factor A.F.) ، وهو عبارة عن نسبة عدد الساعات التي تكون الوحدة في الخدمة (In Service Time) إلى عدد الساعات الكلية. وكلما زاد معامل الإتاحية (A.F) ، كلما زاد الانتاج للوحدة وهذا العامل يعتمد على عناصر كثيرة منها التكنولوجيا المستخدمة ، الجهة المصنعة ، كفاءة طاقم التشغيل والصيانة وانتظامها ، توفر قطع الغيار وميزانية الشراء المباشر ، ... إلخ . وعادة ما يكون العامل حوالي ٨٥٪ عند بدء التشغيل (١٥٪ للصيانة الدورية) ، وتقل تدريجياً مع طول عمر الوحدة نتيجة تكرار خروج الوحدة من الخدمة لأعطال في مكوناتها.

د- سعر إنتاج الماء :

من أهم المعاملات المستخدمة لتقييم وحدات التحلية هو سعر إنتاج المتر المكعب من الماء. وهذا يعتمد على عناصر كثيرة مثل نوع التكنولوجيا المستخدمة ، جودة ونوعية الماء ، سعة الوحدة ، الجهة المصنعة ... إلخ . ويشمل سعر إنتاج المتر المكعب كل من سعر الوحدة الابتدائي وسعر التشغيل (الطاقة ، العمالة ، الكيماويات ... إلخ) ، وسعر تكاليف الصيانة (العمالة ، قطع الغيار ، الورش ... إلخ) .

التقييم الفني والإحصائي لتكنولوجيا التبخر الومضي متعدد المراحل

تتميز تكنولوجيا التبخر الومضي متعدد المراحل بأنها بسيطة ومن أكثر التكنولوجيات نضوجاً (Mature Technology) (من حيث خبرة التشغيل والصيانة) كما ثبت كفاءتها عبر أربعين سنة من التشغيل المستقر خاصة في المنطقة العربية . وتمتاز بإمكانية بناء وحدات كبيرة السعة الإنتاجية (وحتى ١٠٠٠٠٠ متر مكعب في اليوم) . وتنتج هذه الوحدات مياه نقية بملوحة من ٥ إلى ٢٥ جزء من المليون . كما تمتاز بفصل عملية التبخير عن أسطح انتقال الحرارة مما يقلل من احتمالات ترسب وتآكل أسطح أنابيب انتقال الحرارة في مسخن المحلول المحلى ، وكذلك يسمح برفع درجة حرارة المحلول الملحلي (ورفع معامل أداء الوحدة) . والعمر الافتراضي للوحدة هو حوالي ٢٠ سنة (وهناك وحدات تعمل في الخليج منذ ١٩٧٩ وحتى الآن بكفاءة جيدة) . كما يمكن بعمليات التجديد (Rehabilitation) من زيادة عمر الوحدة إلى ٣٠ – ٤٠ سنة كما تتميز هذه التكنولوجيا (شأنها شأن التكنولوجيات الحرارية الأخرى) بإمكانية الاستفادة من طاقة العادم الحرارية كمصدر للطاقة الحرارية لتسخين المحلول ، (كطاقة العادم الحرارية الخارجة من محركات الديزل والتوربينات الغازية وغيرها) . كما تمتاز بأنه لا قيود على نسبة ملوحة ماء التغذية فهي تستخدم مياه البحار المالحة دون الحاجة إلى معالجة دقيقة لدخول الماء المالح . كما لا تحتاج إلى مهارات غير عادية للعاملين بالتشغيل والصيانة . ولا تستخدم بكثرة في محطات التوليد المشترك للماء والكهرباء نظراً لاحتياجها لبخار منخفض الضغط والمتوفر في توربينات محطات الكهرباء البخارية..

ويعيب هذه التكنولوجيا حاجتها لرفع درجة الحرارة القصوى للماء المالح وذلك لرفع معامل أدائها وإنتاجيتها . وتصل القيمة القصوى لهذه الدرجة إلى ١٢٠ درجة مئوية ، ومع ذلك تحتاج إلى كيماويات منع الترسب وأحماض التنظيف . ولا يمكن زيادة درجة الحرارة القصوى للماء المالح لأكثر من ذلك حتى نتجنب ترسب أملاح مثل السليكا والكبريتات (صعبة الإزالة) . كما يعيبها ثبوت معامل الأداء مهما زاد عدد المراحل. ويتضح من الجدولين (١) ، (٢) أن معامل الأداء يتراوح بين ٧ – ١٠ وتتراوح الطاقة المطلوبة لإنتاج وحدة المتر المكعب حوالي ٨ متر مكعب من البخار (كطاقة حرارية)، بالإضافة إلى ٤ ك.و.س (طاقة كهربية) للمعدات المساعدة.

ومن الناحية الإحصائية فتعتبر تكنولوجيا التبخر الومضي الأولى في العالم لإنتاج المياه. والشكلان (٨) ، (٩) يوضحان إحصائيات السعة الإنتاجية لمحطات إعذاب المياه في العالم ، وفيه يتضح أن

تكنولوجيا التبخر الومضي تنتج ٦٤ ٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ٥٠٠٠متر مكعب في اليوم وتنتج ٧٠ ٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم.

والشكل (١٠) يبين السعة الإنتاجية لتكنولوجيا التبخر الومضي لدول العالم والتي يتضح أن الدول العربية لها نصيب الأسد في استخدام هذه التكنولوجيا فالسعودية بها ٣٣٪ من إنتاجية هذه التكنولوجيا، والإمارات ٢٤ ٪ ، والكويت ١٤٪ .

الحسابات الأساسية المطلوبة للتصميم الحراري لوحدة تبخير ومضي متعدد المراحل

الشكل (١١) يوضح نموذج لمحطة تحلية صغيرة تعمل بالتبخر الومضي متعدد المراحل. ويتبين من الشكل أن الوحدة تتكون من الأجزاء الثلاثة التالية :

١- جزء مصدر الحرارة ، ويتكون من غلاية (بنظام الوقود) ، ومخفض لضغط البخار ، ومزيل الحرارة الزائدة (De- superheater) للبخار ، لدخول بخار مناسب لتسخين الوحدة من خلال مسخن المحلول الملحي .

٢- جزء استعادة الحرارة ، ويتكون من أربع مراحل (غرف تبخير ومضي) ، بمكثفاتها التي تكثف البخار المنتج ويستعيد الحرارة المكثف لتسخين المحلول الملحي المار بها.

٣- جزء طرد الحرارة ويتكون من مرحلتين ومكثفات تطرد حرارة ماء التبريد باستثناء جزء صغير من هذا الماء يستخدم كماء تعويض Make – up عن ما فقد من الوحدة من ماء منتج (مقطر Distillate) ومحلول مطرود Blow Down .

٤- هذا بالإضافة إلى المكونات المساعدة للمعالجة الأولية والنهائية وغيرها.

والشكل (١٢) يبين توزيع درجات الحرارة داخل هذه الوحدة حيث تمثل الرموز درجات الحرارة (T) معدلات السريان (m) .

ولتصميم وحدة تحلية للتبخر الومضي متعدد المراحل يلزم تحديد كل من معدلات الإنتاج ، درجات الحرارة القصوى المسموح بها (TBT) ، أقل درجة حرارة لماء التبريد وأقل درجة حرارة في المرحلة الأخيرة وعادة ما تكون الحسابات المطلوبة هي :

- حساب معدل إعادة دوران المحلول الملحي .
- حساب كميات البخار المطلوبة لتسخين المحلول الملحي .
- حساب ملوحة المحلول المحلي .
- حساب معدلات سريان ماء التبريد .

- حساب معاملات الأداء .
- حساب المساحات السطحية لأنابيب مسخن المحلول المحلي ، والمكثفات .

وبعد تحديد الشكل التصميمي للوحدة وأطوال الأنابيب ، يمكن حساب قدرات المضخات اللازمة لدفع الموائع داخل الوحدة.

حساب أساسيات التصميم الحراري لوحدة تحلية بالتبخر الومضي متعدد المراحل

الشكل (١٣) يوضح نموذج لوحدة تبخر ومضي متعدد المراحل والشكل يبين وحدة لإنتاج ٢٠ م٣/اليوم ، وحددت أقصى درجات حرارة للمحلول (TBT) ٧٠ْم وأقل درجة ٤٠ْم (في المرحلة الأخيرة). كما تبين الوحدة أن مصدر التسخين الحراري هو ماء ساخن (يدخل عند ٨٠ْم) ويخرج عند ٧٠ْم)

(أ) الحسابات الأولية للعملية (Process Calculations)

معدل الإنتاج = معدل سريان المحلول × الحرارة النوعية × مجال التبخر الومضي
متوسط الحرارة الكامنة

معدل سريان المحلول = معدل الإنتاج × متوسط الحرارة الكامنة
الحرارة النوعية للمحلول × مجال التبخر الومضي

= ٢٠ (طن / اليوم) × ٢٣٧٠ كجول/ كجم (عند ٥٥ْ م)
٤,١٨ كيلوجول / كجم . م × (٧٠- ٤٠) ْم

= ٢٠ (طن / اليوم) × ١٨,٩ = ٣٧٨ طن / اليوم

النسبة بين معدل سريان المحلول إلى الإنتاج (١٨,٩) تسمى نسبة الدوران Recirculation Ratio . ويلاحظ للحسابات الدقيقة يجب عمل توازن حراري وكتلي للوحدة كلها وكذلك لكل مكونة بها .

(ب) الاتزان الحراري لمسخن المحلول

بعمل اتزان حراري لمسخن المحلول يمكن حساب كمية ماء التسخين (أو البخار إذا كان التسخين بالبخار) كالآتي :

ما فقده ماء التسخين من حرارة = ما اكتسبه المحلول من حرارة .
(معدل السريان للماء أو البخار المسخن × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة)
= (معدل السريان للمحلول الملحي × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة).

وكما يتضح من الرسم تم فرض أن فرق درجات الحرارة هو عشرة درجات في كل منهما وعلى فرض أن الحرارة النوعية متساوية للماء والمحلول (كحسابات أولية) يتضح أن معدل السريان للماء المسخن يساوي معدل السريان للمحلول وهي ٣٧٨ طن / اليوم .

(ج) كمية الحرارة اللازمة للتسخين :

كمية الحرارة اللازمة لتسخين المحلول الملحي

= معدل سريان الماء × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة

= ٣٧٨ طن / اليوم × ٤,١٨ كجول / كجم .°م × ١٠°م

= ٤٣٧٥ كجم / الثانية × ٤,١٨ كجول / كجم . °م × ١٠°م

= ١٨٢,٩ كجول /ثانية = ١٨٢,٩ كيلووات

(لو كان التسخين بالبخار عند درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية يلزم مثلا كمية من البخار (بدلاً من ماء التسخين) تعادل ما يلي :

كمية البخار اللازم للتسخين = كمية الحرارة

الحرارة الكامنة (عند ١٠٠°م)

= ١٨٢,٩ كجول / الثانية

٢٢٥٨ كجول / كجم

= ٠,٠٨١كجم / ثانية = ٧ طن / اليوم

(د) معامل الاستفادة ومعامل الأداء :

يمكن حساب معامل الاستفادة بقسمة كمية الإنتاج على كمية بخار التسخين كالتالي :

معامل الاستفادة = كمية البخار المنتج / اليوم = ٢٠ = ٢,٨٥

كمية بخار التسخين / اليوم ٧

كما يحسب معامل الأداء بقسمة الإنتاج على وحدة الطاقة (كيلوجول/ثانية) كالتالي :

معامل الأداء = كمية البخار المنتج = (٢٠× ١٠٠٠) /(٢٤×٣٦٠٠)كجم/ث = ١,٢٧ كجم/كجول

كمية الطاقة الداخلة ١٢٢,٩ كجول/ث

هـ) نسبة تركيز المحلول Brine Concentration Ratio

نسبة تركيز المحلول = [تركيز المحلول] ÷ [تركيز ماء التغذية]

= معامل ماء التعويض (معدل دوران المحلول – معدل الإنتاج)

معدل الماء المطرود × معدل دوران المحلول

وحيث إن معدل ماء التعويض = معدل الإنتاج + معدل الماء المطرود = ٢٠ + ٢٠ = ٤٠م ٣/ اليوم

= ٤٠ × (٣٧٨ — ٢٠) / ٣٧٨×٢٠ = ١,٨٩

أي أن ملوحة المحلول = ١,٨٩ ملوحة ماء التغذية فإذا كان هذا الرقم مرتفع يمكن خفضه بزيادة معدل الماء المطرود فعلى سبيل المثال إذا كان الماء المطرود = ٤٠ طن في اليوم بدلاً من ٢٠ طن في اليوم كان معدل ماء التغذية يساوي ٦٠ طن في اليوم وعليه يكون نسبة التركيز كالتالي :

نسبة التركيز = [٦٠(٣٣٨ — ٢٠)] ÷ [٤٠ × ٣٧٨] = ١,٤٢

و) معدل ماء التبريد :

من الشكل يتضح ضرورة دخول ماء التبريد إلى المرحلتين الأخيرتين (والتي تسمى جزء طرد الحرارة) فإذا فرضنا أن كمية الإنتاج مقسمة بالتساوي على كل مرحلة من المراحل الست ، فإن كمية البخار اللازم تكثيفها في المرحلتين الأخيرتين تساوي ثلث الإنتاج (مرحلتين / ست مراحل) وبعمل توازن حراري لماء التبريد فإن :

كمية الحرارة المفقودة من بخار التكثيف = كمية الحرارة المكتسبة لماء التبريد

معدل البخار المتكثف × متوسط الحرارة الكامنة =

معدل سريان ماء التبريد × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة

اذاً : معدل سريان ماء التبريد

= ٠,٣٣ × ٢٠ طن / اليوم × ٢٤١٩ كجول/ كجم (عند ٣٥°م) / ٤,١٨ كجول / (كجم . م) × ١٠° م = ٢٨٥ طن / اليوم

(يلاحظ أنها تقريباً تساوي كمية ماء التسخين أو المحلول حيث إن في النهاية يلزم أن تكون الحرارة الداخلة للوحدة = الحرارة الخارجة من الوحدة. والفروق البسيطة في الحسابات نتيجة فرض درجات حرارة متوسطة لحسابات الحرارة الكامنة للبخار . ويلاحظ أيضا أنه يلزم أن يكون معدل الحرارة المطرودة من ماء التبريد أقل قليلاً من حرارة التسخين والسبب أن هناك حرارة مطرودة مع الماء المنتج ومع المحلول المطرود)

ز) حساب المساحة السطحية لانتقال الحرارة

تحسب المساحة السطحية لأنابيب كل من مسخن المحلول وأنابيب التكثيف في كل غرفة تبخر على أساس مبادلات حرارية من المعادلات التالية :

كمية الحرارة المنتقلة = معامل انتقال الحرارة الكلي × المساحة السطحية لانتقال الحرارة× متوسط درجة الحرارة .

(متوسط درجة الحرارة يمكن فرض المتوسط الحسابي للتبسيط) كما يمكن فرض معامل انتقال الحرارة = ٨٠٠وات/م٢.°م (ماء – ماء)، ٢٠٠٠ (وات /م٢ . °م) (ماء – بخار). ففي مسخن المحلول فإن المساحة السطحية يمكن حسابها كالتالي

المساحة السطحية لمسخن المحلول =

[١٨٢,٩ كيلووات ×١٠٠٠ وات/ كيلووات] ÷ [٨٠٠ (وات/ م٢ . °م) × ١٠(°م)] = ٢٢,٨٦م٢

فإن فرضنا طول أنبوب =١م وقطر الأنبوب خمسة أثمان البوصة (١,٢٨٧٥سم) فإن عدد الأنابيب يمكن حسابها كالتالي:

عدد الأنابيب= [المساحة السطحية] ÷ [طول الأنبوب×قطر الأنبوب × الثابت باي]

= ٢٢,٨٦م٢ ÷ [١م × ٠,٠١٢٨٧٥ م × ٣,١٤] = ٥٦٥ أنبوب

وبأخذ نسبة أمان حوالي ٢٥٪ (تشمل احتمالات انسداد الأنابيب أثناء التشغيل) يكون عدد الأنابيب الكلي حوالي ٧٠٠ أنبوب.

وإذا فرضنا أن عملية التسخين تتم عن طريق البخار عند درجة حرارة °١٠٠م فإن عدد الأنابيب سيقل إلى حوالي ٦٥ أنبوب ذلك نتيجة كل من زيادة متوسط درجات الحرارة إلى حوالي (٢٠٠وات/م٢.°م) من ناحية أخرى يمكن أن تقلل عدد الأنابيب في حالة التسخين بالماء بزيادة درجات حرارة ماء التسخين حيث يدخل مثلاً عند ٩٠°م ويخرج عند ٨٠°م . يتضاعف متوسط درجة الحرارة وتقل عدد الأنابيب إلى النصف تقريباً.

المساحة السطحية للمكثف المرحلة الأولى =

كمية الحرارة المنتقلة ÷ [معامل انتقال الحرارة × متوسط فرق درجة الحرارة]

كمية الحرارة التي فقدها المحلول = معدل سريان المحلول × الحرارة النوعية× فرق درجات الحرارة

= ٣٧٨ (طن / اليوم) × ٤,١٨ كجول/(كجم .°م)× °٥م = ٩١,٤ كيلووات

متوسط فرق درجات الحرارة= (٥ + ١٠) ÷ ٢ = °٧,٥م

المساحة السطحية لأنابيب المكثف = ٩١,٤ كيلووات ÷ ٢ كيلو /(م٢.°م) = ٦,١ م٢

عدد الأنابيب = ٦,١م٢ ÷ [١م × ٠,٠١٢٨٧٥ م × ٣,١٤]= ١٥٠ أنبوب

وعلى فرض ٢٥٪ زيادة يكون عدد الأنابيب ١٨٨ أنبوب

ويلاحظ أنه يحسب في كل مرحلة عدد الأنابيب ويؤخذ الأكبر منها حيث تتكرر كمجموعة واحدة مكررة لتكون أقل تكلفة من تصميم مجموعات مختلفة لكل مرحلة.

النظم والمكونات الأساسية والمساعدة لوحدة التبخر الومضي متعدد المراحل

الشكل التوضيحي (٧) يبين وحدة تبخر ومضي متعدد المراحل من النوع الأكثر شيوعاً في العالم وهو إعادة الدوران للمحلول (Brine recirculation) وأهم نظم مكونات هذه الوحدة هي:

أ) المبخر Evaporator

الشكل التوضيحي (١٤) يبين مجسم لغرفة تبخر ومضي ومكوناتها الداخلية ويتكون المبخر من عدد من هذه الغرف تصل أحيانا إلى ٢٥ غرفة في المحطات العاملة . وتحتوي الغرفة على قاعدة تحمل المحلول الملحي الساخن والذي يدخل بوابات خاصة . كما تحتوي على فاصل الرذاذ وأنابيب المكثف ومجرى تجميع الماء المقطر بعد تكثف البخار وتتصل الغرفة بالغرف التالية عن طريق بوابات لمرور المحلول الملحي وكذلك الماء المقطر شكل (١٥)

ب) مسخن المحلول الملحي Brine Heater

والشكل (١٦) يبين نموذج لهذا المسخن هو مبادل حراري يقوم بتسخين المحلول الملحي مقابل تكثف البخار (مصدر هذه الحرارة) . وجدير بالذكر أن المبادلات الحرارية تسمى حسب الغرض من استخدامها . فإذا كان الغرض منها تسخين مائع ماء ، تسمى مسخن (Heater) ونفس المبادل إذا استخدم بغرض تكثيف بخار يسمى مكثف (Condenser) وإذا استخدم نفسه لتبريد مائع يسمى مبرد (cooler) وهكذا.

ج) بوق طرد الهواء Ejector :

يستخدم طارد الهواء بغرض سحب الغازات غير القابلة للتكثيف من داخل الوحدة وطردها للجو (تعتبر هذه الغازات من مسببات التآكل ، وكذلك عازل حراري إذا اجتمعت حوله أنابيب التكثف مما يقلل كفاءة الوحدة) . ويستخدم عادة بخار ذو ضغط مرتفع ليمر خلال بوق هذا الطارد ويحدث التخلخل (Vacuum) اللازم لسحب الغازات من الوحدة شكل (١٧) ونظرا لاختلاط الغازات مع البخار ، فإن هذا الخليط يمر أولاً على مكثف Condenser لتكثيف واستعادة البخار ثم تطرد الغازات إلى الجو .

د) مضخات دفع الموائع Circulating Pumps

توجد بالوحدة عدة مضخات أساسية لدفع موائع الوحدة مثل مضخة إعادة دوران المحلول Brine) (Recirlculation Pump مضخة طرد الرجيع Blow Down Pump مضخة الماء المنتج Product Water Pump مضخة البخار المتكثف Condensate Pump وعادة ما توجد هذه

المضخات مع مثيلاتها الاحتياطي Stand- by pump حتى إذا توقفت المضخة الأساسية (للصيانة العادية أو غيرها) تعمل المضخة المساعدة الاحتياطية .

هـ) نظام ماء التبريد Seawater cooling system

يدخل ماء البحر لتبريد وطرد الحرارة من قطاع طرد الحرارة Heat Rejection Section للمبخر ، شكل (٧) ويطرد معظم ماء التبريد للبحر ثانية باستثناء جزء يستخدم كماء تعويض Make –up water لتغذية الوحدة ويستخدم جزء من ماء البحر الداخل للتبريد في مكثف طارد للهواء لتكثيف أي بخار خارج مع البخار المسحوب من الوحدة وتصميم وحدة التحلية على أساس أعلى درجة لماء التبريد وذلك لضمان تشغيل الوحدة بسعتها الكلية طوال العام (لاحظ أن ماء التبريد في الصيف يكون أعلى درجة حرارة منه في الشتاء – كذلك بين النهار والليل وعمق الماء المسحوب) وفي أثناء الشتاء البارد (مع انخفاض شديد في درجة حرارة الماء الداخل للوحدة) يمكن خلط جزء من الماء الخارج من الوحدة مع الماء الداخل للحصول على الدرجة المناسبة للتشغيل وتسمى هذه العملية Tempering .

و) منظومة ماء التعويض Make – up seawater system

يعادل ماء التعويض كل من الماء الخارج من الوحدة إما على صورة جيدة كماء منتج Product Water أو المحلول المطرود للصرف Blow Down ويدخل ماء التعويض الوحدة في المرحلة الأخيرة عادة كما يلزم معالجة ماء التعويض قبل دخوله الوحدة وذلك لمنع الترسبات وتكون القشور على أسطح انتقال الحرارة وذلك لمنع التآكل ويتم ذلك بإضافة بعض الكيماويات لمنع التآكل وكذلك ضبط الرقم الهيدروجيني PH .

ز) منظومة بخار التسخين Heating Steam System

لتسخين المحلول، يلزم مرور مائع ذو درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة القصوى (TBT) للمحلول حول مسخن أنابيب المحلول لتسخين المحلول. ويعتبر البخار من أفضل هذه الموائع لثبوت درجة حرارته أثناء التكثف مما يحافظ على درجة حرارة مناسبة لأسطح الأنابيب (دون ترسب أملاح) ويتم إضافة من مصدر كالغلايات البخارية أو محطة قوى بخارية أو غير ذلك ويتم التحكم في كمية البخار بالتحكم في درجة الحرارة القصوى المطلوبة وذلك بواسطة صمام تحكم ويخرج الماء المتكثف ويدفع ثانية إلى الغلاية من خلال مضخة المكثف ويتم إعادة جزء صغير من المتكثف إلى مزيل الحرارة الزائدة De – superheater وذلك لتخفيف درجة حرارة البخار الداخل لمسخن المحلول (ترتفع نسبة التحميص للبخار بعد مروره في الغلاية إلى منخفض الضغط) كما يتم مراقبة التوصيلة للمتكثف Condensate حيث يطرد في حالة ارتفاع في حالة ارتفاعها عن حد معين.

ح) نظام التهوية Venting system

يهدف النظام إلى إزالة الغازات غير القابلة للتكثف من المبخر ، ومسخن المحلول الملحي ، بالإضافة إلى طارد الهواء Deaerater على التوازي أو التوالي وذلك باستخدام بوق طرد الهواء Ejector . ويستخدم كاتم للصوت لتقليل ضوضاء خروج الهواء والغازات إلى الجو.

ط) نظم ومرافق أخرى Utilities & other systems

توجد بالوحدة (مثل معظم النظم الهندسية) نظم ومراقبة أخرى مثل النظم الكيميائية لتغذية الكيماويات المطلوبة ، نظم تبريد وتزييت حوامل المضخات نظم الحماية من الحريق Fire Fighting System ، والنظم الكهربية لإدارة المضخات Electric Metors ، وأجهزة القياس والمراقبة والتحكم ، والمحولات والخطوط والدوائر الكهربية ، والفلاتر (المرشحات) الهوائية ... إلخ .

ك) منظومة إعادة دوران المحلول Brine Recirculation System

يختلط ماء التعويض في المرحلة الأخيرة مع المحلول الملحي المركز ، ومن ثم يخفف من ملوحته . ويتم إعادة تدوير المحلول المخفف من خلال مضخة إعادة دوران المحلول Brine Recirculation Pump إلى أنابيب المكثفات في قطاع استعادة الحرارة . يمتص المحلول الحرارة من البخار المكثف (والمكون بعد ذلك الماء المنتج) ، ومن ثم ترتفع درجة حرارته تدريجياً حتى دخوله مسخن المحلول. وفي مسخن المحلول ترتفع درجة حرارة المحلول إلى أعلى درجة في الوحدة ثم يدخل المرحلة الأولى للمبخر وحيث إن درجة حرارة TBT تكون أعلى من درجة حرارة التشبع Saturation Temperature المناظرة للضغط داخل المرحلة الأولى ، فإن جزء من المحلول يتبخر فجائياً (وميضياً) ويسحب البخار حرارة تبخره من باقي المحلول والذي تصل درجة حرارته إلى درجة التشبع (تقريباً) وينتقل بعد ذلك المحلول إلى المراحل التالية لتستمر عملية التبخر الجزئي في كل مرحلة. ومع تبخر جزء من المحلول ، تزداد ملوحته تدريجياً حتى آخر مرحلة .عندها يتم طرد جزء من هذا المحلول المركز Blow Down ، والباقي يتم خلطه مع ماء التعويض ودفعه ثانية للدائرة من خلال مضخة إعادة التدوير وتعاد الدورة ، ويتم التحكم في معدل سريان المحلول عن طريق صمام تحكم عند مخرج المضخة.

ل) منظومة الماء المنتج Product Water System

في كل مرحلة ، يتم تجميع الماء المتكثف من المكثفات في مجرى خاص ،من حيث مروره (عادة بالجاذبية الأرضية) بالمرحلة الأولى . (من خلال فتحة ، أو بوابة) إلى الثانية ثم الثالثة ... وهكذا حتى آخر مرحلة . يتم سحب هذا الماء المنتج من آخر مرحلة عن طريق مضخة الماء المنتج إلى الخزانات الخاصة

به. ويتم طبيعياً التحكم في معدل مرور الماء المنتج من كل مرحلة للأخرى عن طريق ارتفاع مستوى الماء المنتج في آخر مرحلة . كما يتم متابعة جودة الماء المنتج بقياس الموصلية حيث إذا زادت عن حد معين يتم طرد الماء المنتج إلى البحر .

م) منظومة المحلول المطرود Blow Down System

يتم فصل المحلول المركز (القادم إلى المرحلة الأخيرة) عن ماء التعويض عن كريق حاجز فصل Weir ، حيث يتم طرد جزء من المحلول المركز للصرف ، والباقي يتم خلطه مع ماء التعويض لإعادة دورانه كما في (ك) . ويتم تصميم معدل الصرف حسب التركيز المطلوب للمحلول في الدائرة ، حيث إن زيادة الصرف تقلل من نسبة تركيز المحلول في الدائرة والعكس بالعكس .

ن) منظومات المعالجة الأولية والنهائية

سيتم شرح مفصل لمنظومات المعالجة الأولية لمياه التغذية Feed Water Pre- treatment System وكذلك المعالجة النهائية للماء المنتج Product Water Post Treatment System وذلك في الفصل السادس من هذا الكتاب.

التبخير متعدد التأثير

تكنولوجيا التحلية بالتبخير متعدد التأثير Multi (multiple) Effect (ME or MED)

تستخدم هذه الطريقة لإنتاج الماء بالتقطير (التبخير والتكثيف) ، مثلها في ذلك مثل طريقة التبخير الومضي متعدد المراحل وكل الطرق الحرارية الأخرى. لكنها تستخدم عملية الغليان Boiling لتبخير الماء المالح (بدلاً من عملية التبخر الومضي)، أي أن عملية تكوين البخار تتولد على أسطح تسخين. ونظراً لأن عملية الغليان تسبب تبخر الماء العذب ، يتبعها ترك الرواسب الملحية على أسطح التسخين (مما يقلل من كفاءتها) ، لذا فإن أقصى درجة حرارة للماء المالح على أسطح التسخين الوحدة محددة بحوالي ٧٠ م ، حتى تقلل من احتمالات ترسيب الأملاح صعبة الإزالة مثل الكبريتات والسليكات (في حين تمتاز عملية التبخر الومضي بإمكانية رفع درجة الحرارة القصوى إلى ١٢٠°م).

وتمتاز عملية التبخر متعدد التأثير بارتفاع معدل الأداء (عن تكنولوجيا التبخر الومضي) ، فكل عملية بخار يتم إنتاجها في أي مرحلة (تأثير – Effect) يمكنها أن تكون مصدراً للحرارة لإنتاج كمية أخرى من البخار لمرحلة أخرى تالية وهكذا. لذلك كلما زاد عدد المراحل (التأثير) لهذه التكنولوجيا كلما زاد معدل أداء الوحدة وكذلك زيادة إنتاجيتها. وعليه يقلل من سعر تكلفة إنتاج الماء (في حين أن عملية التبخر الومضي محددة الإنتاج مهما زادت عدد المراحل).

شرح عملية التبخر متعدد التأثير

يتم إنتاج الماء (بالتبخر والتكثف) في غرف التبخر في مجموعة من المراحل (تأثيرات) مستخدمة مبدأ خفض الضغط في كل تأثير عن ضغط التأثير السابق له . وهذا يسمح لماء البحر بالغليان وبالتبخر عدة مرات بدون إضافة طاقة حرارية خارجية بعد التأثير الأول . والشكل (١٨) يوضح نموذج لهذا النوع من الوحدات ويوضح وحدة ذات ثلاث تأثيرات بالإضافة إلى مكثف. في هذا النموذج الموضح يدخل ماء البحر (كماء تبريد cooling water) إلى المكثف عند نقطة (١) ويقوم بتكثيف بخار المكثف ويخرج منها عند النقطة (٢). يطرد معظم ماء التبريد مرة ثانية إلى البحر عند نقطة (٣) بينما يستفاد من الجزء الباقي كماء تغذية للوحدة عند النقطة (٤) . يدخل ماء التغذية إلى التأثير الأول عند نقطة(٥) ، حيث يتم تسخينه بواسطة بخار خارجي من النقطة (٦) إلى النقطة (٧) . يتبخر جزء من هذا الماء ويصعد لأعلى النقطة (٨) ويستفاد منه كمصدر للحرارة للتأثير الثاني ، بينما يدخل الجزء المتبقي من ماء التغذية من التأثير الأول إلى التأثير الثاني عند النقطة (٩) وتتكرر العملية في التأثير الثاني والثالث (

وغيره إذا وجد أكثر من ذلك) ويخرج المحلول الملحي المتبقي عند النقطة (١٠) وفي كل تأثير ، يتكثف البخار المتولد في التأثير السابق ويخرج الجميع كمنتج للوحدة عند النقطة (١١) . ويلزم لهذه العملية أن يكون كل تأثير عند ضغط أقل من التأثير السابق له لذا لزم وجود منظومة تخلخل Vacuum System كما موضح عند النقطة (١٢) .

والشكل (١٩)يوضح نموذج آخر لوحدات التبخر متعدد التأثير من النوع الرأسي Vertical type أي أن كل تأثير أسفل السابق له. وفي هذا النموذج يدخل ماء البحر (كماء تبريد) من أسفل عند النقطة (١) إلى المكثف حيث يكثف البخار فيه ويطرد أغلب ماء التبريد (٢) باستثناء جزء بسيط (٣) يدخل من خلال مضخة ماء التغذية Feed Water Pump ، إلى التأثير الأول، والذي يتم إما نثره على صورة رذاذ أو فيلم رقيق على أسطح أنابيب التسخين (٤) حيث تضاف له الطاقة الحرارية (بواسطة بخار ، أو أي مصدر حرارة خارجي) (٥) من داخل أنابيب التسخين لترفع من درجة حرارته إلى درجة الغليان Boiling temperature والتي عادة ما تكون حوالي ٧٠°م (ضغط حوالي ٠,٣ بار) . ويتبخر جزء من الماء في التأثير الأول (الغرفة الأولى) وما يتبقى من الماء يوجه إلى التأثير الثاني (الغرفة الثانية) (٦) حيث يتم نثره على أسطح أنابيب التسخين في التأثير الثاني. ويكون مصدر حرارة تبخر الماء في التأثير الثاني هو البخار المنتج من التأثير الأول (٧) (والذي يتكثف بعد أن يعطي حرارته إلى ماء التأثير الثاني ويجمع كجزء من الإنتاج) . ويتبخر جزء من الماء في التأثير الثاني والذي يكون مصدر الحرارة للتأثير الثالث وهكذا تتكرر العملية في التأثيرات التالية ، والتي يتم خفض الضغط بها أكثر من سابقتها. وفي كل مرة يتم ضخ ونثر الماء المتبقي من أي تأثير إلى التأثير التالي ويكون مصدر الحرارة هو تكثف البخار من التأثير السابق.

وتتراوح عدد التأثرات (المراحل) في محطات التبخر متعدد التأثير بين ٣- ١٦ . كما تتراوح إنتاجية كل وحدة بين ٢٠٠ إلى ٥٠٠٠ م٣/اليوم . وعلى الرغم من أن محطات التبخر الومضي هي الأكثر شيوعاً في العالم خاصة للوحدات ذات الإنتاجية العالية إلا أن محطات التبخر متعدد التأثير بدأت تأخذ اهتمام أكثر نظراً لكفاءتها العالية .

استخدام تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير في تطبيقات أخرى

تستخدم تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير في تطبيقات أخرى فمعظم عمليات التركيز للمحاليل الغذائية المالحة أو السكرية وكذلك المحاليل الطبية والأدوية وغيرها تستخدم هذه. التكنولوجيا لكنه في هذه الحالة يكون تركيز المحلول (وطرد بخار الماء) هو الهدف وليس تجميع البخار وتكثيفه واستخدامه كمنتج كما في حالة التحلية.

التقييم الفني والاحصائي لتكنلوجيا التبخر متعدد التأثير

تتميز تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير بأنها أيضا بسيطة ومن أكثر التكنولوجيات قدماً من حيث استخدامها في عمليات التركيز للمواد الغذائية وغيرها. وقد بنيت وحدة تبخر ثلاثي التأثير في أوربا منذ ١٢٠ عام). كما تمتاز بارتفاع معامل الأداء مع زيادة عدد المرحل (التأثيرات) بين ١٠ – ١٥. (يمكن حسابها تقريباً بضرب رقم ٠,٨ × عدد التأثيرات في الوحدة). وتتراوح الطاقة المطلوبة لإنتاج وحدة المتر المكعب حوالي ١٢ متر مكعب من البخار (طاقة حرارية) ، بالإضافة إلى ١,٨ ك و س (طاقة كهربية) للمعدات المساعدة. كما تمتاز بإمكانية بناء وحدات بسعة إنتاجية حتى ٥٠٠٠ م٣ في اليوم وتنتج هذه الوحدات مياه نقية بملوحة من ٥ إلى ٢٥ جزء في المليون . كما تمتاز بانخفاض أقصى درجة حرارة المحلول الملحي مما يقلل من احتمالات ترسب وتآكل أسطح انتقال الحرارة ، ويسمح كذلك باستخدام مواد رخيصة نسبياً لأسطح انتقال الحرارة مما يخفض السعر الابتدائي للوحدة ، ورفع معامل الإتاحية Availability والتواجدية Reliability .والعمر الافتراضي للوحدة هو حوالي ٢٠ سنة . كما تتميز هذه التكنولوجيا (شأنها شأن التكنولوجيات الحرارية الأخرى) بإمكانية الاستفادة من طاقة العادم الحرارية (كطاقة العادم الحرارية من محركات الديزل والتربينات الغازية وغيرها) . كما تمتاز بأنه لا قيود على نسبة ملوحة ماء التغذية ، فهي تستخدم لمياه البحار المالحة دون الحاجة إلى معالجة دقيقة لدخول الماء المالح . كما لا تحتاج مهارات غير عادية للعاملين في التشغيل والصيانة ويعيب هذه التكنولوجيا حاجتها إلى كيماويات منع الترسيب (نظراً لأن التبخر يتم على أسطح انتقال الحرارة) ، وكذلك أحماض التنظيف ولا يمكن زيادة درجة الحرارة القصوى للماء المالح عن حوالي ٧٠°م حتى نتجنب ترسب الأملاح.

ومن الناحية الإحصائية فتعتبر مشاركة تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير في إعذاب مياه البحر جديدة نسبياً (نظرا لانبهار العالم بتكنولوجيا التبخر الومضي لمدة ٣٠ عاما). إلا أن تكنولوجيا التبخر

متعدد التأثير بدأت تأخذ اهتماماً أكبر في العقد الأخير خاصة في الوحدات الصغيرة ، وأيضا مع دخول تكنولوجيا ضغط البخار معها إنتاج المياه . والشكلان (٨) ، (٩) يوضحان السعة الإنتاجية لمحطات إعذاب المياه في العالم وفيه يتضح أن تكنولوجيا متعدد التأثير تمثل فقط ٣,٦ ٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ٤٠٠٠ متر مكعب في اليوم ، وتمثل ٤ ٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم وهذه النسب وإن كانت نسبة بسيطة حالياً إلا أنها في تزايد مستمر وبمعدل مرتفع خاصة في السنوات الأخيرة. والشكل (٢٠) يمثل السعة الإنتاجية لوحدات التبخر متعدد التأثير ME وضغط البخار VC (والتي سيتم شرحها لاحقا)ً في دول العالم . ويتضح من الشكل أن دولاً عربية مثل الإمارات العربية والسعودية وليبيا واليمن والبحرين والجزائر وقطر ومصر ولبنان والكويت بها عدد من هذه الوحدات.

حسابات وحدة التبخر متعدد التأثير

الشكل (٢١) يوضح نموذج لوحدة تبخر ومتعدد التأثير ذات خمسة تأثيرات بالإضافة إلى المكثف. وحيث إن مصدر الحرارة (Q_{in}) ماء ساخن (من ٨٠°م إلى ٧٠°م) فإن درجة حرارة الغليان في المرحلة الأولى يجب أن تكون أقل بمقدار ٥ درجات مثلاً لتصل إلى ٦٥°م (ضغط الغليان عند ٦٥°م يساوي حوالي ٠,٢٥ بار).

وبفرض وجود خمس درجات فرق في كل مرحلة ، فإن درجات الغليان ستكون كما موضح بالشكل. كذلك يخرج البخار المتولد في كل مرحلة عند درجة التشبع ، ويفقد حرارته الكامنة (كمصدر حراري للتأثير التالي) ويخرج ماء مشبعاً عند نفس درجة الحرارة (فرضاً) كما هو مبين بالشكل (٢١ ح) وعلى سبيل المثال ، فالبخار المتولد في المرحلة الأولى يخرج عند ٦٥°م إلى المرحلة الثانية حيث يخرج بخاراً مشبعاً عند ٦٥°م أيضا . من ناحية أخرى يدخل ماء التعويض عند درجة حرارة التشبع للمرحلة السابقة (باستثناء أول مرحلة حيث يدخل عند درجة حرارة ماء التبريد الخارج من المكثف). وبهذه الفروض يكن عمل التوازن الحراري للوحدة كاملة، ثم لكل مرحلة كما يلي :

التوازن الحراري للوحدة كاملة :

نفرض أن كمية الحرارة الداخلة للوحدة (Q_{in}) تساوي ١٨٣ كيلوات. كذلك بفرض أن الوحدة تنتج ٢٠ طن / اليوم (٠,٢٣٢ كجم /ث) وان معدل صرف الرجيع (B / D) يساوي نفس كمية الإنتاج أي ٢٠ طن / اليوم (٠,٢٣٢كجم/ ث) . وعليه يكون ماء التعويض يساوي ٠,٤٦٤ كجم / ث .

معدل دخول ماء التسخين = الحرارة الداخلة

الحرارة النوعية للماء× فرق درجات الحرارة

= ١٨٣ كجول / ث ÷[٤,١٨ كجول / كجم . ْم × ١٠ْم]= ٤,٢٧٧ كجم /ث

يحسب معدل دخول ماء التبريد (Sea water) ك بعمل توازن للوحدة كاملة . والتوازن الحراري يعني أن الطاقة الداخلة للوحدة =الطاقة الخارجة منها . ومن الشكل (٢١ ب) فإن :

الطاقة الداخلة للوحدة = Q_{in} + الطاقة ماء التبريد الداخل

الطاقة الخارجة من الوحدة = طاقة ماء التبريد الخارج (بعد سحب كمية من الماء للتعويض) + طاقة الماء المنتج (PW) + ماء المحلول المطرود (B/D)

وبمساواة الطرفين فإن :

١٨٣ كجول / ث + [ك (كجم / ث) × ٤,١٨ (كجول /كجم . ْم) × ٣٠ْم]

= (ك – ٠,٤٦٤) × ٤,١٨(كجول/ كجم.ْم)× ٤٠(م) + ٠,٢٣٢ (كجم/ ث)× ٤,١٨ (كجول/ كجم . ْم) × ٤٥ (م) + ٠,٢٣٢(كجم/ث) × ٤,١٨ (كجول / كجم. ْم) × ٤٥(م)

من هنا فإن معدل دخول ماء التبريد (ك) يساوي ٤,١٣ كجم/ث (٣٨٥,٢ طن/ اليوم).

التوازن الحراري لكل تأثير :

أ) التأثير الأول شكل (٢١ ح) :

الطاقة الداخلة = Q_{in} + طاقة ماء التعويض .

الطاقة الخارجة = طاقة البخار + طاقة خروج المحلول إلى التأثير الثاني.

وبمساواة الطرفين فإن :

١٨٣ كجول / ث + (٠,٤٦٤ × ٤,١٨ × ٤٠) = [M_1] × ٢٦١٨+ (٠,٤٦٤ – M_1) × ٤,١٨ × ٦٥

من هنا فإن كمية البخار المتولدة في التأثير الأول = ٠,٠٥٧ كجم /ث (٤,٩٦ طن/ اليوم).

ب) التأثير الثاني شكل (٢١ ج) :

الطاقة الداخلة = طاقة البخار عند (٦٥ م) + طاقة دخول المحلول عند (٦٥م)

الطاقة الخارجة = طاقة البخار المتولد عند (٦٠ م) + طاقة البخار المتكثف عند (٦٥ م) + طاقة خروج المحلول عند (٦٠ م) .

M_1 × ٢٦١٨ + (٠,٤٦٤ − M_1) × ٤,١٨×٦٥=

M_2 × ٢٦١٠ + M_1 × ٢٧٦ + (٠,٤٦٤ − M_1 − M_2)× ٤,١٨×٦٠.

وبالتعويض عن (M_1) بقيمتها والتي تساوي ٠,٠٥٧ كجم/ث فإن كمية البخار المتولدة من التأثير الثاني (M_2) تساوي ٠,٠٦كجم/ث (٥,٢٢ طن /اليوم) .

وهكذا يكون الحال في التأثير الثالث والرابع والخامس وكذلك في المكثف. وعادة ما تكون هذه الحسابات الأولية ويلزم إعادتها لضبط ملوحة المحلول داخل المراحل وكذلك للحصول على الإنتاجية المطلوبة. ويتم عمل ذلك عن طريق بناء برنامج على الحاسب الآلي لتسهل إعادة الحسابات بسرعة مناسبة.

التحلية بضغط البخار

تكنولوجيا التحلية بضغط البخار (Vapor compression)

تعتبر طريقة التحلية بضغط البخار إحد الطرق المستخدمة للوحدات المتوسطة نسبياً لإنتاج الماء (حتى ٥٠٠٠ م٣ في اليوم) . وقد استخدمت هذه التكنولوجيا في أوروبا منذ عام ١٩١٠ ، واليابان منذ ١٩٢٠ وفيها يتم الاستفادة من حرارة البخار في المراحل الأخيرة بعد ضغطه كمصدر للحرارة بدلا من استخدام بخار خارجي (من الغلايات) .

الشكل (٢٢) يوضح نموذج لوحدة تحلية أحادية المراحل (التأثير) حيث يدخل ماء البحر (التغذية) نقطة (١) إلى غرفة التبخر بعد تسخينه في مبادل حراري (مسخن ابتدائي Preheater) للاستفادة من حرارة الماء المنتج (PW) (وأحيانا لحرارة المحلول المطرود أيضا) (B/D) فلو فرضنا أنه بدأ إنتاج البخار (باستخدام مسخن ابتدائي خارجي) فإن البخار الناتج من الوحدة ، نقطة (٢) يتم ضغطه (عن طريق ضاغط) إلى أن ترتفع درجة حرارته نقطة (٣) بحيث يكون هذا البخار الساخن هو مصدر الحرارة اللازم لتبخير جزء آخر من ماء التغذية. يمر البخار الساخن (بعد ضغطه) حول مجموع أنابيب الماء المالح ، نقطة (٤) ويتم تكثيف البخار حول الأنابيب ويستفاد من حرارة المتكثف (لغلي الماء المالح داخل الأنابيب ولإنتاج كمية أخرى من البخار ، والذي بدوره يتم ضغطه لتعاد الدورة مرة أخرى. يخرج الماء المكثف من الوحدة كماء منتج حيث يمر على المسخن الابتدائي ويفقد جزء من حرارته (يبرد الماء) ويعطي هذه الحرارة إلى ماء التغذية المالح الداخل للوحدة للاستفادة منها. وللمحافظة على نسبة الملوحة داخل حيز الماء المالح ، يتم طرد كمية من هذا الماء للخارج (حيث يمر على المسخن الابتدائي ليستفاد من حرارته أيضا) . والأشكال (٢٣) ، (٢٤) تبين نماذج أخرى من الوحدات التجارية المستخدمة لتكنولوجيات ضغط البخار.

ضغط البخار

تستعمل طريقتان لضغط البخار هما ضغط البخار الميكانيكي وضغط البخار الحراري :-

أ) ضغط البخار الميكانيكي (Mechanical Vapor Compression MVC)

وفيه يستخدم ضغط ميكانيكي (يدار بمحرك كهربائي لضغط البخار . ومن ثم تكون القدرة الكهربية لمحرك الضاغط هي المصدر الوحيد للطاقة لإدارة الوحدة . والأشكال (٢٢) إلى (٢٤) توضح

هذا النوع من الوحدات ، حيث يمكن أن يستخدم الضاغط أيضا لإحداث التخلخل داخل غرفة التبخر ، وسحب الغازات من الوحدة وطردها.

ب) ضغط البخار الحراري (Thermal Vapor Compression TVC)

وفيه يستخدم تدفق بخار دافع خارجي (عند ضغط مرتفع نسبيا) خلال بوق Ejector لإحداث التخلخل داخل الغرفة وسحب البخار المنتج من الغرفة من فتحة سحب البخار (Suction Pipe) وضغطه من فوهة توجه Nozzel ، ثم خروجه مع البخار الخارجي. والشكل (٢٥) يمثل نموذج لأبواق ضغط البخار وهي نفسها المسببة لإحداث التخلخل من خلال سحب البخار المتكون والغازات معها.

والشكل (٢٦) ، (٢٧) يمثلان نموذجان لوحدات حقيقية لضغط البخار المبكانيكي والحراري. والشكل (٢٨) يمثل نموذج لوحدة ضغط بخاري حراري عاملة بسعة ٢٥٠٠م٣/ْيوم

التقييم الفني والاحصائي لتكنولوجيا ضغط البخار

تتميز تكنولوجيا التبخر بضغط البخار بأنها من أبسط وأكفأ التكنولوجيات الحرارية. وتمتاز بإمكانية بناء وحدات صغيرة ومتوسطة بسعتها الإنتاجية من ١٠٠ حتى ٥٠٠٠ م٣ / اليوم وتنتج هذه الوحدات مياه نقية بملوحة من ٥ إلى ٢٥ جزء في المليون . ولا تحتاج إلى مياه تبريد كالتكنولوجيات الحرارية الأخرى لذا يمكن بناؤها بعيداً عن مصدر كبير للمياه (باستثناء ماء التغذية).

كما تمتاز بانخفاض أقصى درجة حرارة للمحلول الملحي إلى قرب ٧٠ْم، مما يقلل من احتمالات ترسب وتآكل أسطح انتقال الحرارة، وكذلك يسمح بخفض درجات الحرارة باستخدام مواد رخيصة نسبياً مما يخفض السعر الابتدائي للوحدة ورفع معامل الإتاحة والتواجدية. والعمر الافتراضي للوحدة هو أيضاً حوالي ٢٠ سنة (باستثناء الضاغط الميكانيكي) كما تتميز هذه التكنولوجيا (شأنها شأن التكنولوجيات الحرارية الأخرى) بإمكانية الاستفادة من طاقة العادم الحراري (كطاقة العادم الحرارية من محركات الديزل والتوربينات الغازية وغيرها لتوليد البخار اللازم لعملية الضغط الحراري) . كما تمتاز بأنه لا قيود على نسبة ملوحة ماء التغذية، فهي تستخدم لمياه البحار المالحة دون الحاجة إلى معالجة دقيقة لدخول الماء المالح. كما لا تحتاج إلى مهارات غير عادية للعاملين بالتشغيل والصيانة . كما تمتاز بإمكانية جمعها مع تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير. والشكل (٢٨) السابق يوضح وحدة ضغط بخار متعدد التأثير ومن ثم بارتفاع معامل الأداء مع زيادة عدد المراحل. وتحتاج هذه التكنولوجيا إلى الكهرباء فقط (إذا استخدم الضغط الميكانيكي) . من ناحية أخرى يزداد معدل البخار المستخدم كمصدر للتسخين ٢٥٠٪ (إذا استخدم الضغط الحراري) حيث يسحب كل كجم بخار حي (Live or Driving Steam)حوالي

كجم ونصف من بخار المراحل الأخيرة (Entraind System) ، والجميع يكونان بخار التسخين. كما تمتاز هذه الوحدات بسرعة بدء التشغيل والتوقف لقلة معدلات المياه المعاد إدارتها

ويعيب هذه التكنولوجيا حاجتها إلى كيماويات منع الترسيب (نظرا لأن التبخر يتم على أسطح انتقال الحرارة) ، وكذلك أحماض التنظيف. كما لا يمكن زيادة درجة الحرارة القصوى للماء المالح عن ٧٠°م حتى نتجنب ترسب الأملاح الصلبة الصعبة الإزالة.

والطاقة المطلوبة لإنتاج وحدة المتر المكعب من الماء من هذه التكنولوجيا حوالي ٧- ٩ ك.و.س (طاقة كهربية) للضاغط وللمعدات المساعدة كما أن معامل الأداء يماثل تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير (إذا استخدم الضغط الحراري) بل يزيد بمعدل ٢٥٠٪ نظرا للاستفادة ببخار المراحل الأخيرة للوحدة.

ومن الناحية الإحصائية فتعتبر مشاركة تكنولوجيا ضغط البخار في إعذاب مياه البحر صغيرة نسبياً ، إلا أنها بدأت تأخذ اهتماماً أكبر في العقد الأخير خاصة في الوحدات الصغيرة وأيضا مع دخول تكنولوجيا التبخر متعدد التأثير معها مع لإنتاج المياه . والشكلان (٨) ، (٩) يوضحان السعة الإنتاجية لمحطات إعذاب المياه في العالم وفيه يتضح أن تكنولوجيا ضغط البخار تمثل فقط حوالي ٢٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ٥٠٠٠م٣/اليوم ، وتمثل حوالي ٤٪ من إنتاج العالم للوحدات أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم . ويمثل الشكل (٢٠) تواجد هذه الوحدات في دول العالم بما فيها الدول العربية.

حساب أساسيات تصميم وحدة تحلية بالتبخر الومضي مع ضغط البخار

الشكل (٢٩) يوضح نموذج لوحدات تحلية بالتبخر الومضي مشابهة للوحدة السابق تصميمها في شكل (١٣). والفرق بين الوحدتين هو استخدام البخار للتوليد في المرحلتين الأخيرتين بعد ضغطهما كمصدر لطاقة الحرارة لمسخن المحلول الملحي. والشكل (٣٠) يمثل توزيع درجات الحرارة داخل المبادات الحرارية لنفس الوحدة بالشكل (٢٩) .

حالة بخار التسخين :

يخرج البخار من المرحلة الخامسة عند نقطة (a) ومن المرحلة السادسة عند النقطة (c). ينخفض الضغط من (a) إلى (b) (مع ثبات الطاقة – الانثالبي) الى النقطة (b) يختلط البخار المحمص (b) مع البخار المشبع (c) ليتوسط إلى بخار بخار محمص (d) وهي نقطة الخروج للوحدة إلى الضاغط ، شكل (٣٠) ويكون ضغط (d) وهو الضغط المقابل لدرجة الحرارة ٤٠°م (٠,٠٧٤ بار) وطاقته هي :

طاقة البخار عند (d) = [الطاقة عند (b) + الطاقة عند (c)] ÷ ٢

= [٢٥٨٣ + ٢٥٧٤] ÷ ٢ = ٢٥٧٨ كجول / كجم

الجدول (٣) يوضح طاقة البخار عند النقاط المختلفة

لنفرض أن الضغط الخارج من الضاغط هو أعلى قليلا من الضغط الجوي (لإمكانية خروج جزء من هذا البخار) للجو لما يحمله من غازات غير متكثفة للتخلص منها) وليكن الضغط الخارج هو ١,١بار . كما نفرض أن كفاءة الضاغط ٦٥٪ لذا فيمكن الرمز لطاقة البخار الخارج من الضاغط بالرمز طاقة (٢)

جدول (٣) طاقة البخار عند النقط المختلفة للشكل (٢٩)

الطاقة (الانثالبي)	النقطة	الطاقة (الانثالبي)	النقطة
٤٢٩	٤	٢٥٨٣	a
١٢٥,٥	٥	٢٥٨٣	b
١٤٠	٦	٢٥٧٤	c
		٢٥٧٨	d
		٣٤٧٣	2
			3

كفاءة الضاغط =

[طاقة الضاغط عند(٢)ْ – طاقة الضاغط عند(d)] ÷ [طاقة الضاغط عند(٢)– طاقة الضاغط عند (d)]

(طاقة الضاغط عند (٢)ْ هي على فرض أن الانضغاط اديباتيكي وباستخدام جداول البخار.

٠,٦٥= [٣١٦٠ _ ٢٥٧٨,٥]÷[طاقة(٢) – ٢٥٧٨,٥]

إذا الطاقة عند (٢) =٣٤٣٧كجول/كجم

الطاقة المطلوبة من الضاغط =طاقة (٢) – طاقة (d)

=٣٤٣٧- ٢٥٧٨,٥=٨٩ كجول/كجم

وعلى فرض أن كل مرحلة من مراحل الوحدة تنتج نفس كمية البخار (للتبسيط) فإن إنتاج كل مرحله =

سدس ×٢٠ طن /اليوم = (٢٠ ÷ ٦) طن /اليوم =٠,٠٣٨٦كجم / ثانية

قدرة الضاغط = (٢×٠,٠٣٨٦) كجم /ث ×٨٩٤,٥ كجول / كجم=٦٩كيلووات .

التوازن الحراري لمزيل تحميض بخار التسخين :

يخرج البخار من الضاغط عند درجة حرارة مرتفعة قد تصل إلى ٣٣٠°م. لذا يلزم إزالة تحميض البخار ليصل إلى درجة التشبع عند ١,١ بار وهي حوالي ١٠٢ درجة مئوية . وبعمل توازن حراري بين الداخل والخارج لمزيل التحميض:

كمية البخار المحمص الداخل × طاقته (٢) + كمية ماء إزالة التحميص ×طاقته=

(كمية البخار + كمية الماء) × طاقة الخروج (٣)

(٠,٠٧٧٢ × ٣٤٧٣) + M d/s × ٤٢٩) = (٠,٠٧٧٢ + M d/s)×٢٦٨٠

كمية ماء إزالة التحميض (M d/s) =

[٠,٠٧٧٢(٣٤٧٣- ٢٦٨٠)]÷ [٢٦٨٠- ٤٢٩] = ٠,٠٢٧١٩كجم/ث= ٢,٣٥ طن/اليوم

التوازن الحراري للمسخن الأولي (من الملح المطرود)

كتلة ماء التغذية × فرق درجات الحرارة = كتلة الماء المطرود× فرق درجات الحرارة

وبفرض أن كتلة الماء المطرود = كتلة الماء المنتج = ٢٠ طن/اليوم أي أن كتلة ماء التغذية =٢×كتلة الماء المنتج = ٤٠ طن/اليوم وبفرض أن الماء المطرود تنخفض درجة حرارته بين ٤٠°م إلى ٣٥°م (٥ درجات) فإن ماء التغذية ترتفع درجة حرارته ٢,٥°م أي يدخل ٣٠م ويخرج ٣٢,٥°م.

كمية الحرارة = ٢٠طن/ اليوم (٠,٢٣كجم/ث) × ٤,١٨كجول/كجم × °٥م = ٤,٨٣كيلوات

المساحة السطحية = [٤,٨٣(كيلوات)] ÷ [٠,٥ (كيلوات /م٢.م)× °٦,٢٥م]=١,٥٥م٢

وبفرض الطول للأنابيب = ١م

عدد الأنابيب ١,٥٥ م٢ ÷ [١× ٣,١٤ ×٠,١٢٨] = ٧٥ أنبوب

عمل توازن حراري للمسخن الأولي (من ماء المنتج) شكل (٤- ٣١)

بتوازن المسخن الأعلى :

(٢٠ ÷ ٣) × (١٠٢ – ت١) = ٤٠ × (٤٠- ٣٥) ت١= ١٠٢ – (٦× ٥)= °٧٢م

بتوازن السخان الأسفل :

٤٠(٣٥- ٣٢,٥)= (٢٠÷ ٣)× (٢٧- ت١)+[(٢٠ × ٢) ÷ ٣] × (٥٠ – ت)

١٢٠×٢,٥= ٢٠ (٧٢ –ت٢) +٤٠ (٥٠ – ت٢)

٦٠ = ١٤٤٠ - ٢٠ت٢ + ٢٠٠٠- ٤٠ت٢

٦٠ت = ١٤٤٠ + ٢٠٠٠ - ٣٠٠ = ٣١٤٠

ت٢ = ٥٢,٣م

كمية الحرارة للسخانين معاً= ٤٠ طن/ اليوم× ٤,١٨× (٤٠ — ٣٢,٥) = ١٤,٥ كيلوات

المساحة السطحية لأنابيب السخانين ١٤,٥÷ (٠,٥ × ٢٣,٧٥) = ١,٢م٢

حساب كمية الماء لإعادة الدوران

في منطقة استعادة الحرارة فإن الماء المعاد في دورانه MR يلزم أن يكشف كمية البخار المتولد في كل مرحلة وعلى سبيل المثال في المرحلة الثالثة (المتوسطة) فإن :

كمية الماء × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة= كمية البخار المنتج × الحرارة الكامنة MR طن / اليوم × ٤,١٨ كجول / كجم . ْم × ١٥ْم = ٦٠/٢٠ (طن / اليوم) × ٢٣٧٠(كجول/كجم) MR = ٣٧٨طن / اليوم

نسبة إعادة الدوران = ٢٣٨ ÷ ٢٠ = ١٨,٨

حسابات المساحة السطحية لمسخن المحلول الملحي :

كمية الحرارة = معدل سريان المحلول الملحي × الحرارة النوعية × فرق درجات الحرارة

٣٧٨طن / اليوم × ٤,١٨ × ١٠ = ١٨٢,٩ كيلوات

المساحة السطحية = ١٨٢,٩ كجول/ث ÷ ٢ × [(٣٢ + ٤٢) ÷ ٢] = ٢,٤٧م٢

وبفرض طول المبادل ٢م

عدد الأنابيب = ٢,٤٧ ÷ [٢ ×٠,٠١٢٨٧٥ × ٣,١٤] = ٣٠,٥ أنبوب

ويأخذ نسبة أمان حوالي ٢٥ ٪ يكون عدد الأنابيب حوالي ٤٠ أنبوب

المساحة السطحية لمكثف غرف التبخر :

كمية الحرارة = نصف كمية مسخن المحلول الملحي = ٩١,٤٥كيلوات

المساحة السطحية = نصف المساحة لمسخن المحلول الملحي = ١,٤٧ م٢

ونفرض أن طول الانبوب = ١م

عدد الانابيب = ٤٠ انبوب (بالزيادة ٢٥ ٪ أمان)

المقارنة بين تكنولوجيات التحلية الحرارية الثلاثة السابقة

الجدولان (٤) ، (٥) يبينان مقارنة بين تكنولوجيات التحلية التجارية الحرارية الثلاثة (بالإضافة إلى الناضح العكسي والمنافس الأساسي للتكنولوجيا الحرارية والذي سيتم شرحه فيما بعد) وهي : -

أ) تكنولوجيا التحلية بالتبخر الومضي متعدد المراحل (MSF)

ب) تكنولوجيا التحلية بالتبخر متعدد التأثير (ME)

ج) تكنولوجيا التحلية بضغط البخار (VC)

د) التناضح العكسي (RO)

جدول (٤) مقارنة المميزات الأساسية للتكنولوجيات التجارية لتحلية مياه البحر

التكنولوجيا	المميزات
التبخـــر الوميضـــي متعـــدد المراحـــل MSF	١/ مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م٣ ٢/ الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً ٥- ٢٥ جزء في المليون ٣/ التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها للتشغيل والصيانة عالية ٤/ يمكن بناء وحدات كبيرة السعة حتى مائة ألف متر٣/ اليوم حالياً (٦٠٠٠٠م٣ / اليوم) ٥/ التبخر بعيد عن سطح انتقال الحرارة ٦/ التكنولوجيا بسيطة
التبخر متعدد التأثير ME	١/ مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م٣ ٢/ الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً ٥- ٢٥ جزء في المليون ٣/ التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها للتشغيل والصيانة عالية ٤/ انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى أ) خفض نسبة تكوين الرواسب والتآكل ب) رفع قيمة الاتاحة والتواجدية ت) استخدام مواد رخيصة الثمن

ضغط البخار VC	١/ يحتاج فقط للطاقة الكهربائية MVC ٢/ الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جداً ٥- ٢٥ جزء في المليون ٣/ لا تحتاج تبريد لذا يمكن بناؤها بعيد عن مصدر كبير للماء ٤/ من أبسط وأكفأ التكنولوجيات ٥/ انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى : أ) خفض نسبة تكوين الرواسب والتآكل . ب) رفع قيمة الإتاحة التواجدية ج) استخدام مواد رخيصة الثمن
التناضح العكسي R.O.	١/ لا يحتاج ماء التغذية إلى تسخين لذا يقلل من التآكل والترسبات . ٢/ ملوحة الماء المنتج من ٣٠٠ – ٥٠٠ وهي مناسبة لماء الشرب . ٣/ مرونة سعة الوحدات (من ١٠٠ ل إلى ١٠٠٠٠٠ م٣ / اليوم) حسب حجم وعدد الأغشية المستخدمة ٤/ تحتاج فقط إلى طاقة كهربية كما يمكن استعادة من ٢٥- ٣٠٪ من الطاقة.

جدول (٥) مواصفات الأداء الأساسية لوحدات التحلية التجارية :

العنصر	التبخر الوميضي	متعدد التأثير	ضغط البخار	الناضح العكسي
أقصى سعة للوحدة (م٣ / اليوم) مليون جالون / اليوم	٧٠ألف (١٤)	٢٤٠٠٠ (٤,٥)	٥٠٠٠ (١,٣)	١٠٠٠ (٢)
معامل الأداء (كجم منتج / كجم بخار)	٧- ١٠	١٠- ١٥	لا يوجد	لا يوجد
معدل استهلاك البخار (م٣بخار /م٣ماء منتج	٨	١٢	لا يوجد	لا يوجد
معدل استهلاك الكهرباء (ك و س) / م٣ ماء منتج	٤	١,٨	٧- ٩	٤ (ماء آبار) ٨ (ماء بحر)
سعر الوحدة (دولار لكل م٣/ اليوم) (دولار لكل جالون/اليوم)	(١٠٠٠- ٣٠٠٠) ٤- ١٢	(٥٠٠ — ٢٠٠) ٢- ٨	(١٥٠٠- ٣٠٠٠ ٦- ١٢	(٨٠٠- ٢٤٠٠) ٣- ٩
سعر إنتاج م٣ من الماء دولار / م٣	٠,٥- ١,٥	٠,٥- ١	٠,٥ — ١	٠,٧٥- ١,٢٥
نسبة التواجد في العالم لوحدات أكبر من ٤٠٠٠م٣/اليوم (٪)	٦٤	٣,٦	٢	٢٥,٧
نسبة التواجد في العالم لوحدات أكبر من ١٠٠م٣/اليوم (٪)	٤٨,١	٤	٣,٩	٣٥,٩

والشكل (٣٢) يوضح مقارنة إحصائية بين عدد وحدات تكنولوجيات التحلية المختلفة على مستوى العالم والتي تضح منه تقدم تكنولوجيا التبخر الومضي متعدد المراحل وعدم منافسة كل من تبخر متعدد التأثير أو ضغط البخار .

الجمع بين هذه الطرق الحرارية المختلفة

هناك محطات تحلية متعددة التأثير تستخدم ضغط البخار كمصدر حرارة لتسخين الماء المالح . كما أن هناك محطات صغيرة تجمع بين طريقة التبخر الومضي متعدد المراحل والتبخر متعدد التأثير لذا يمكن الجمع بين طريقتين أو أكثر من هذه الطرق الثلاث . والشكلان (٢٦) ، (٢٧) يوضحان نموذجين لوحدات تحلية عاملة تجمع بين طريقتي ضغط البخار والتبخر متعدد التأثير (والوحدة ذات تأثيرات ثلاثية) والشكل (٢٨) يوضح نموذج آخر لوحدة تبخر متعدد المراحل مع ضغط البخار حرارياً وبسعة ٢٥٠٠ م٣ / اليوم . لكن الفيصل في استخدام هذا الجمع هو هل هناك فائدة تعوض تعقيدات تركيب تكنولوجيات مختلفة أم لا وما زال العلماء وخبراء التحلية في عمل مستمر سواء للاستفادة من مميزات كل تكنولوجيا معروفة او استنباط طرق أخرى.

إمكانية الاستفادة من حرارة العادم للمحركات لإنتاج الماء بالتحلية

تعتبر تكنولوجيا استعادة حرارة العادم لمحركات الديزل والتوربينات الغازية وغيرها من التطبيقات الهامة حيث توفر طاقة حرارية مجانية (تمثل حوالي ١٠٠ ٪ أو أكثر من طاقة إنتاج المحرك نفسه) ويمكن الاستفادة من هذه الطاقة لتوليد بخار عند ضغوط منخفضة أو متوسطة أو تسخين الماء لاستخدامه كمصدر طاقة حرارية لتحلية المياه بالطرق الحرارية المختلفة. كما توجد فعلا وحدات تحلية بالسفن والمراكب لإنتاج الماء اللازم للرحلات الطويلة باستخدام ماء تبريد المحرك كمصدر للطاقة لوحدات التحلية والشكل (٣٤) يوضح نموذج لهذا النوع من الوحدات والتي تستخدم نظم تبريد محركات الديزل كمصدر حراري والجدول (٦) يبين مواصفات هذا النوع من الوحدات.

جدول (٦) مواصفات وحدة استعادة حرارة العادم

المواصفات	حدود القيم
السعة الإنتاجية (جالون / ساعة)	١٠٠- ٦٠٠
الحرارة المطلوبة (مليون وحدة بريطانية / الساعة)	٠,٩- ٥,٥
درجة الحرارة المطلوبة (فهرنهيت)	١٦٥ — ١٩٥
معدل ماء التبريد للوحدة (جالون / دقيقة)	٥ — ٣٤٠
درجة الحرارة لماء التبريد للوحدة (فهرنهيت)	٣٠ — ٩٥
معدل التغذية للمبخر (جالون / دقيقة)	٣,٣ — ٢٠
قدرة محركات الديزل المستخدمة (حصان)	٣٦٥ — ٢٢٠٠
الطاقة الكهربية المفقودة (ك و)	١,٥ — ٣,٧

طرق تحلية حرارية أخرى

تم استخدام عمليات أخرى لتحلية المياه المالحة غير أن هذه العمليات لم تصل إلى مستوى النجاح التجاري المنافس الذي وصل إليه التحلية الحرارية السابقة ولكن ربما قد تبرهن على فائدتها تحت ظروف خاصة أو مع التطور المستقبلي وأبرز هذه العمليات هي التجميد والتبخير الشمسي والتقطير بالأغشية .

تحلية المياه المالحة بالتجميد

من المعروف أن عملية التجميد بالتبريد Freezing مثلها مثل عملية التبخير (التسخين) فإن كلا العمليتين يفصل الماء العذب عن الماء المالح بتغيير الطور من سائل إلى صلب أ ومن سائل إلى غاز أو بخار وكلا العمليتين ينتج الماء (من بلورات ثلجية أو بخار الماء) خالي تماماً من الأملاح اللهم ما يتعلق بها من قطرات الماء المالح والتي يمكن فصلها فيما بعد وعليه يمكن تحلية المياه المالحة بتبريد الماء ليكون بلورات ثلج وفصل بلورات الثلج وغسل المزيج لفصل الماء المالح العالق ببلورات الثلج وبعد ذلك يذوب الثلج للحصول على الماء العذب والجدير بالذكر بأن البلورات المتكونة تحتوي عادة على ماء مالح داخلها إذا تجمدت القشرة الخارجية أولاً (الشكل ٤- ٣٥) لذا يجب كسر جرش هذه البلورات وفصلها عن الماء والمالح ثم غسلها قبل إذابتها للحصول على الماء العذب.

ولقد بذل مجهود عظيم لتطوير تقنية التحلية بالتجميد إلا أنها لم تصل المنافسة التجارية مثل الطرق المعروفة .

والشكل ٣٦ يبين نموذج لعملية تحلية بالتجميد حيث يدخل ماء البحر عند نقطة (١) من خلال طارد الهواء Deaerator ويتم يبرد جزئياً في مبادل حراري (يستفيد من برودة المحلول المطرود) إلى نقطة (٢) يدخل الماء المالح بعد ذلك إلى وحدة تبريد Refrigeration unit لخفض درجة حرارته إلى قرب التجمد نقطة (٣) يدخل الماء البارد في غرفة تجمد ضغطها منخفض (أقل من ضغط البخار عند درجة حرارة الماء البارد) فيتبخر جزء من الماء البارد نقطة (٤) ويسحب البخار حرارة تبخره من الماء البارد الذي يتجمد جزئيا على صورة بلورات نقطة (٥) يدفع خليط الماء البلورات إلى غرفة الفصل الميكانيكي نقطة (٦) حيث تفصل البلورات لأعلى غرفة الفصل وتغسل لإزالة العوالق المالحة وتدفع إلى أعلى غرفة التجمد ويتم صهر البلورات بعد دفعها إلى غرفة التجميد نقطة (٧) حيث يتم امتصاصها لحرارة البخار الصاعد إلى أعلى غرفة التجمد والذي يتكثف ويكون مع البلورات الذائبة الماء العذب المنتج نقطة (٨، ٩) ويطرد جزء من المحلول المالح (للمحافظة على تركيز ملوحة ثابت بالوحدة) بعد أن يمر على المبادل الحراري للاستفادة من برودته (١٠)

ومن الناحية النظرية فإن للتجميد بعض مميزات على التقطير (بالتبخير والتكثيف) وتشمل هذه المميزات قلة الطاقة المطلوبة الطاقة اللازمة أقل كثيراً من الطاقة اللازمة للتبخر) كذلك ضآلة احتمال التآكل وتقليل القشور أ و الترسيب بانخفاض درجات الحرارة ومن مساوئها أن طريقة فصل خليط الماء والثلج ميكانيكية وصعبة.وقد أنشئ عدد قليل من المحطات خلال الـ ٤٠ سنة الماضية غير أن العلمية لم تحرز نجاحاً تجارياً في توفير الماء للأغراض التجارية وبنيت محطة تحلية تجريبية بالتجميد في المملكة العربية السعودية في الثمانينات وقد تم إنهاء التجربة وتفكيك المحطة لصعوبة صيانتها.

تكنولوجيات التحلية بالمقطرات الشمسية

تمثل التحلية بالمقطرات الشمسية عملية محاكاة الدورة المائية الطبيعية حيث يتم تسخين الماء المالح بأشعة الشمس (لإنتاج بخار الماء بالترطيب) ويتم بعد ذلك تكثيف البخار على سطح بارد ، ويتم تجميع الماء المكثف كماء منتج. ويوضح الشكل (٣٧) نموذج للمقطرات الشمسية البسيطة ، حيث يتم تسخين الماء المالح في إناء على القاعدة الأرضية للمقطر بالطاقة الشمسية ، ويتبخر جزء من الماء، ويتكثف البخار على سقف البيت الزجاجي المنحدر والذي يغطي الإناء ليمثل الماء المنتج. وقد استخدمت الطاقة الشمسية المباشرة لتحلية المياه المالحة خلال الحرب العالمية الثانية ، حيث بذل مجهود كبير لتصنيع وحدات تقطير شمسية صغيرة لاستخدامها في اطواق النجاة للجنود. وقد استمر هذا العمل بعد نهاية الحرب العالمية الثانية بمختلف الوسائل والاختبارات. وقد تم القيام بمجهودات مكثفة لزيادة كفاءة وإنتاجية وحدات التقطير. **التقطير الغشائي** Membrane Distillation

كما يشير الاسم ، تشمل العملية كل من استخدام عملية التقطير (التبخر والتكثف) من خلال الأغشية وتتضمن العملية ، شكل (٣٨) تسخين المياه المالحة لإنتاج البخار الذي يمر (أثناء تواجده بين جزيئات الماء وسطح الغشاء) عبر غشاء شبه نفاذ (يسمح بمرور البخار دون مرور جزيئات الماء) وبعد عبور البخار للغشاء فإن يتكثف على السطح الآخر للغشاء ، لتجميع الماء العذب المنتج ولا يستطيع الماء بعد تكثيفه أن يمر عبر الغشاء مرة أخرى حيث إن طبيعة الغشاء شبه نفاذة (أي ينفذ عنصر دون آخر) ولذلك يتم حصره وتجميعه كإنتاج للمحطة. ومقارنة مع العمليات الناجحة تجارياً فإن العلمية تقنية التقطير الغشائي تحتاج إلى فراغ أوسع وربما مقدار أكبر من الطاقة لضخ كل وحدة منتجة (كيلوات / م ٣) ولذلك فإن استخدام هذه العملية كان ومازال في نطاق تجريبي ضيق. وحيث إنها عملية تقطير بالضرورة فإنها تخضع لذات عوامل الأداء المتعلقة بعملية التقطير .

والميزة الرئيسية لعلمية التقطير الغشائي تكمن في بساطتها والفارق الحراري البسيط لتشغيلها. وأفضل تطبيق لهذه العملية في تحلية المياه المالحة يتجلى في توفير طاقة حرارية ذات درجة حرارة متدنية

وقليلة التكلفة مثل التي يمكن التي الحصول عليها من العادم الحراري للمصانع أو من مجمعات الطاقة الشمسية ، والأشكال من (٣٩) إلى (٤١) ، توضح نموذج لعملية التقطير الغشائي.

تكنولوجيا التوليد المشترك (توليد الكهرباء وإنتاج الماء)

يمكن استخدام مصدر الطاقة الداخلة في بعض المواقع (طاقة احتراق الوقود) للحصول على أكثر من صورة من الطاقة المفيدة (كالطاقة الكهربية والطاقة الحرارية) ويسمى هذا بالتوليد المشترك Co-generation بمعنى أن مصدراً متفرداً للطاقة يقوم بإنتاج نوعين من صور الطاقات المفيدة للاستخدام.

وهناك بعض عمليات التحلية وخاصة التقطير (الطرق الحرارية) يمكن إنشاوءها للاستفادة من ميزات التوليد المشترك . وقد تم بناء هذه الوحدات كجزء من مرافق لإنتاج كل من الكهرباء ومياه البحر المحلاة في كثير من دول الخليج العربي وشمال أفريقيا ، حيث اهتمت هذه الدول بإنشاء بنياتها الأساسية وحاجتها لكل من الماء والكهرباء وقد كان هذا النوع من مرافق التوليد المشترك يناسب برامج التطوير في هذا الأقطار. وهذا النوع من مرافق إنتاج الماء والكهرباء يسمى عموماً بمحطة مزدوجة الغرض في حالة التوليد المشترك والشكل (٤٢) يوضح الاستفادة من الطاقة في حالة التوليد المشترك

وتنتج هذه الوحدات الكهرباء بواسطة بخار ذي ضغط عالٍ لتحريك التوربينات التي بدورها تولد الكهرباء. وعندما يتمدد هذا البخار في التوربين فسوف ينخفض مستوى درجة حرارته وضغطه وتحتاج محطات التحلية إلى بخار بدرجة حرارة منخفضة ١٢٠ ْم أو أقل ، وهذا يمكن تحقيقه عن طريق البخار ذي الضغط ودرجة الحرارة المنخفضين عند مؤخرة التوربين (حيث استخدمت معظم طاقته العالية لتوليد الكهرباء) .

ويمكن تمرير هذا البخار عبر السخان الملحي لمحطة التحلية Brine Heater حيث يتكثف على سطوح الأنابيب مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة مياه البحر فيها . ويعاد الماء المكثف إلى الغلاية لتسخينه ثم يوجه إلى التوربين مرة ثانية وهكذا . والشكل (٤٣) شكل عام لنظم المحطات المشتركة للكهرباء والماء . وفيها يكون عناصر الدخل للمحطة هي كل من الوقود وماء البحر ،في حين يكون عناصر الخروج هي الكهرباء والماء المنتج (العذب). وتوجد في المحطة نظم خاصة لتوليد الكهرباء (محطة توليد كهربي)، ونظم خاصة لتحلية المياه (محطة تحلية) بالإضافة إلى نظم مشتركة Common system تخدم المحطتين معاً ضمن النظم المساعدة Auxillary System.

ومن مميزات التوليد المشترك تخفيض استهلاك الوقود مقارنة مع استهلاك الوقود لمحطتين منفصلتين إحداهما لإنتاج الكهرباء وأخرى لتحلية المياه المالحة. وحيث إن الطاقة هي عنصر هام في تكلفة تشغيل

أي محطة تحلية فإن هذه تعتبر فائدة اقتصادية هامة. ومن بين مساوئ التوليد المشترك أن الوحدتين لا بد من أن ترتبطان سويا (من حيث نظم التحكم والتشغيل).

.تقنيــة التحليــة بالأغشــية والطــرق الأخــرى : Membrane and Other Desalination Technologies

تعتمد تقنيات تحلية المياه بالأغشية على وجود قوة دافعة للماء أو الملح للانتقال عبر غشاء شبه نفاذ يسمح بمرور إحدى المكونات مع ترك العنصر الآخر (الماء فقط أو الأملاح فقط).

وتنقسم تقنيات التحلية (التجارية) بالأغشية إلى عدة طرق أهمها طريقتي التناضح العكسي (Reverse Osmosis :RO) و الديلزة الكهربائية (Electro -dialysis ED or EDR). و تظهر كلتا الطريقتين القدرة على فصل الملح عن الماء بكفاءة. و تستخدم الأغشية بطريقة مغايرة في كلتا الحالتين.

ففي حالة التناضح العكسي، يستخدم الضغط كقوة دافعة لعملية فصل الماء عن الملح من خلال الغشاء بحيث يمر الماء العذب من خلال الغشاء، تاركا خلفه الأملاح (المحلول الملحي).

أما في حالة الديلزة الكهربائية، فيستخدم الجهد الكهربي كقوة دافعة لتحريك و جذب الأملاح من خلال الغشاء إلى وجه الأقطاب الكهربية بحيث يترك الماء العذب كماء منتج.

وقد تم تطوير كلتا الطريقتين منذ بداية القرن الحالي غير أنهما لم يستثمرا تجاريا إلا خلال الثلاثين سنة الماضية. وتعتبر عمليتا التناضح العكسي و الديلزة الكهربية حديثة بالمقارنة مع الطرق الحرارية، حيث تم تقديمهما تجاريا خلال السبعينات.

التناضح العكسي(Reverse Osmosis R.O)

١,١: معنى التناضح العكسي

تلعب الأغشية في الطبيعة دوراً مهماً في فصل الأملاح. و لها تطبيقاتها في جسم الإنسان و الحيوان و النبات. فأغلب عملية امتصاص العناصر الغذائية في الخلايا الحية لأجهزة جسم الإنسان والحيوان و النبات تستفيد من عملية التناضح(Osmosis). ومن الأمثلة لطريفة لعملية التناضح هي عمل تجويف في إحدى ثمرات البطاطس ووضع كمية من ملح الطعام الجاف داخل التجويف. سنجد امتلاء التجويف بالماء المالح أي أن الماء العذب انتقل من خلال أغشية خلايا ثمرة البطاطس إلى الملح (أي من الجهة الأقل تركيزاً بالملوحة إلى الملح الأكثر تركيزا بالملوحة).، و هذه هي عملية التناضح.

وتعرف عملية التناضح العكسي(Reverse Osmotic Process) بأنها عملية انتقال عكسي للماء العذب من المحلول الأكثر تركيزا إلى المحلول الأقل تركيزا (إذا فصل المحلولان بغشاء شبه نفاذ). و الغشاء الشبه نفاذ(Semi permeable)، هو الذي يسمح بنفاذ أو مرور عنصر دون آخر، أي مثلا يسمح مثلا بمرور الماء دون السماح للملح بالمرور أو العكس.

١.٢- عملية التناضح العكسي

على الرغم أن العملية الأسموزية كانت معروفة للكثير من منذ أكثر من قرن، فإن تقنية استخدام الأغشية لمعالجة المياه تعتبر حديثة. وكان أول إعلان لاستخدام التناضح العكسي هو براءة اختراع بنفس الاسم لإزالة عسرة الماء(Softening) باستخدام أغشية فيروسيانيد على مثبتات مسامية من البورسلين. و في سنة ١٩٥٢ أنتج في جامعة فلوريدا أغشية من أسيتات السيليلوز لتحلية المياه بالتناضح العكسي. و كان من عيوب الغشاء المستخدم ضعف معدل الإنتاج للماء العذب لسمك الغشاء (وكان هذا تقريبا وقت ظهور تقنيةالديلزة أو الفرز الكهربي). و في الخمسينيات تم تطوير الأغشية لزيادة معدل مرور الماء مع ارتفاع معدل طرد الملح. وتم في الستينيات إنتاج أغشية مثل الملفوفة حلزونيا (Spiral Wounded)أو على صورة أنابيب و غيرها ثم ظهرت في السبعينيات أغشية الشعيرات الدقيقة المجوفة(Hollow Fine Fibers) من البوليميد مع استقرار إنتاج أغشية اسيتات السيليلوز. و قد كان تطوير الأغشية لاستخدامها لإزالة ملوحة المياه قليلة الملوحة أما الآن (ومنذ نهاية السبعينات) فقد تم تطوير الأغشية لتحلية المياه شديدة الملوحة كمياه بحر.

٣.١- شرح عملية فصل الماء العذب بالتناضح العكسي

إذا وضعنا محلول ماء ملحي في جانب لغشاء شبه نفاذ و الجانب الآخر ماء عذب، فمن المعروف طبيعيا أن ينتقل (ينفذ) الماء العذب (الأقل تركيزا) إلى المحلول الملحي (الأكثر تركيزا)، و ذلك لإحداث التوازن أو التعادل في عملية التركيز. و هذه تعرف بعملية التناضح(Osmosis Process). و يستمر نفاذ الماء العذب في هذا الإتجاه و عليه يرتفع عمود المحلول الملحي لأعلى نتيجة زيادة كمية الماء بالمحلول باستمرار نفاذ الماء العذب - الشكل(١)- .

وبارتفاع عمود الماء يرتفع الضغط بجانب المحلول الملحي و تزداد لذلك مقاومة نفاذ و مرور الماء العذب حتى يصل ارتفاع الضغط إلى قيمة تمنع من نفاذ الماء العذب تماما. عند هذا الضغط يحدث التوازن و يسمى هذا الضغط بالضغط الأسمومزي(Osmotic Pressure). و قد اكتشف العلماء أنه يمكن عكس هذه العملية أي أنه إذا أثرنا على المحلول الملحي بضغط أعلى من الضغط الأسموزي فسينتقل الماء العذب من المحلول الملحي (الأكثر تركيزا) في الاتجاه العكسي و ينفذ إلى جهة الماء العذب (الأقل تركيزا). و تعرف هذه العملية بعملية التناضح العكسي و التي يمكن بها الحصول على الماء العذب من الماء المالح. و من ثم فعملية التناضح العكسي(Reverse Osmosis) هي عملية فصل الماء العذب عن محلول ملحي من خلال غشاء نفاذ و ذلك بضغط المحلول الملحي بضغط أعلى من الضغط الأسموزي. و لا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل بل يلزم أن يوضع المحلول الملحي (الماء المالح) تحت ضغط أعلى من الضغط الأسموزي (Osmotic Pressure) لكي تتم عملية التناضح العكسي(شكل (١)).

وتعتمد قيمة الضغط الأسموزي على عوامل عدة منها تركيز الملوحة للماء المالح (Total Dissolved Solids: TDS)ح وعلى نوعية الأملاح الذائبة و على درجة الحرارة. ويتراوح الضغط الأسموزي لعنصر كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) و الذي يمثل ٦٠ ٪ في الماء المالح بين ١- ١,١ رطل/البوصة المربعة (أي حوالي ٠,٠٧ بار) لكل مائة جزء في المليون من الملح الذائب (أو واحد بار لكل ١٤٣٠ جزء في المليون) - شكل (٢).

فمثلا لماء بئر ملوحته ٥٠٠٠ جزء في المليون فإن الضغط الأسموزي له يساوي تقريبا٥٠٠٠❖٠,٠١❖١ = ٥٠رطل/البوصة المربعة (حوالي ٣,٤ بار)، و لماء بحر ملوحته ٣٢٠٠٠ جزء في المليون فإن الضغط الأسموزي له حوالي ٣٢٠ رطل/البوصة المربعة (حوالي ٢٢ بار) إلا أنه يجب ملاحظة أن الضغط الحقيقي اللازم لعملية التناضح العكسي عادة ما يكون أكبر كثيرا من هذه الأرقام و ذلك لإضافة الضغوط اللازمة للآتي:

الفقد في الضغط اللازم لسريان ماء التغذية خلال مجمع الأغشية و الأنابيب و الصمامات و غيرها ،
الزيادة في ملوحة الماء أثناء مروره بالأغشية نتيجة استخلاص الماء العذب منه ،
الضغط الاستاتيكي لرفع الماء لخزانات الماء المنتج، أو خزانات ماء الطرد ،
إحتمالات الانسداد الجزئي للأغشية مع الزمن نتيجة ترسب العوالق و الأملاح و المكونات العضوية ، .....الخ.

ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية المالحة(Saline Feed Water) في وعاء ضغط مغلق(Pressure Vessel) حيث يضغط الماء المالح ويدفع خلال مجموعة من الأغشية(Membranes) ، و عندما يمر جزء من الماء العذب عبر الغشاء تزداد ملوحة الماء المالح المتبقي(Brine). و عليه فإن جزءاً من مياه التغذية الأكثر ملوحة يتم التخلص منه. و بدون هذا التخلص فإن الازدياد المطرد لملوحة مياه التغذية سوف يتسبب في مشاكل كثيرة مثل زيادة الترسبات و زيادة الضغط عبر الأغشية (لزيادة الضغط الأسموزي مع زيادة الملوحة). و تتراوح كمية المياه المتخلص منها بهذه الطريقة ما بين ٢٠ الى٧٠٪ من مياه التغذية اعتمادا على كمية الأملاح الموجودة في مياه التغذية و يسمى هذا المحلول بالمطرود(Rject). أما الماء العذب و الذي نفذ من الأغشية فيكون الماء المنتج (Permeate or Water Product)- شكل (٣)- .

وتحتاج هذه التقنيةلعمليات معالجة أولية دقيقة لماء التغذية (لإزالة المواد العالقة من الطمي أو الرمال و غيرها) ، و كذلك إزالة وقتل و فصل الأحياء المائية الدقيقة (كالفطريات و البكتيريا و الطحالب) و ذلك للمحافظة على و حدة التحلية من انسداد و تلف الأغشية. كما يحتاج الماء المنتج إلى معالجة نهائية لضبط خواصه بما يناسب الخواص المطلوبة حسب الاستخدام (سواء ماء شرب، أو مياه للغلايات البخارية، أو للاستخدام الصناعي و الغذائي و الطبي) و عليه فمحطة التحلية تتكون من ثلاثة نظم أساسية الأولى للمعالجة الابتدائية، و الثانية لفصل الماء العذب (بمجمع الأغشية) و الثالثة للمعالجة النهائية - شكل (٤).

٤.١- كيفية عمل الأغشية

الأغشية عبارة عن مواد طبيعية أو صناعية شبه نفاذة(Semi Permeable) أي تسمح بمرور الماء فقط دون الأملاح. و تتكون أغشية التناضح العكسي من مواد خاصة (مثل اسيتات السليلوز) أو البولي أميد ، إما على شكل شعيرات (خيوط) مجوفة مثل خيوط شعر الرأس تقريبا (Hollow Fine Fibers) -شكل (٥) - ملفوفة على شكل حرفU ، أو على شكل ألواح حلزونية ملفوفة (Spiral Wounded Sheets). و تعمل الأغشية بما يسمى بنظرية السريان بالامتصاص الانتقائي (بالخاصة

الشعرية) أي أن طبيعة الغشاء تسمح بامتصاص الماء فقط (ورفض امتصاص الأملاح). وتعتمد قدرة الغشاء على فصل الأملاح على قطر المسام من ١ إلى ١٥ انجستروم وهي أقل كثيراً من المرشحات الدقيقة(Micro Filteration) و التي تمنع الأحياء الدقيقة بالترشيح. و الأشكال (٦) و (٧) تبين نماذج من هذه الأغشية.

١.٥- المقارنة بين أغشية التناضح العكسي

تعتبر الأغشية قلب نظام أغشية التناضح العكسي وهي تتكون من مواد رقيقة بسمك حوالي ٠,٠٤ إلى ٠,١ ميكرون ومثبتة بمواد مسامية ليصل سمكها إلى حوالي ٠,٠١مم - شكل (٨). وهي تختلف في قدرتها على مرور الماء العذب وطرد الأملاح. و الأغشية لها القدرة على منع مرور من ٩٠- ٩٩٪ من المواد غير العضوية و حوالي ١٠٠٪ من المواد العضوية (كالبكتيريا و الفيروسات) و غيرها (كالسيلكا). و يمر الماء العذب من خلال الفراغات بين الهيكل الجزيئي لمادة الغشاء عن طريق الانتشار(Diffusion). و تستخدم مواد مثل أسيتات السليلوز و مركباتها و البروليميد كأساس للأغشية التجارية و الجدول (١) يوضح الفرق بين كلا المادتين في الأغشية.

الجدول ١: مقارنة مواد الأغشية

اسيتات السليلوز	البوليميد
معدل مرتفع لمرور الماء العذب لوحدة المساحات	معدل أقل لمرور الماء العذب لوحدة المساحات
تستخدم في الأغشية الملفوفة حلزونيا و الشعيرات الدقيقة المجوفة و غيرها.	تستخدم في الأغشية الملفوفة حلزونيا و الشعيرات الدقيقة المجوفة و غيرها.
عمرها أقل من البوليميد	عمرها أطول من السليلوز
تقاوم وجود الكلورين الزائد حتى أقل جزء في المليون	حساس لوجود الكلور ين
مستقر حتى رقم هيدروجيني بين ٣,٥- ٦,٥	مستقر في حدود الرقم الهيدروجيني٣- ١١
حساس لهجوم البكتيريا	يقاوم البكتيريا
حساس لإمكانية انهياره مع ارتفاع درجة الحرارة و عدم انضباط الرقم الهيدروجيني	يقاوم الانهيار مع ارتفاع درجة الحرارة و عدم انضباط الرقم الهيدروجيني
نسبيا أرخص سعرا	نسبيا أعلى سعرا

٦-١. الفرق بين عمليتي التناضح العكسي و عملية الترشيح الدقيق

يتفق كل من عمليتي التناضح العكسي و الترشيح الدقيق في أنهما يفصلان الماء عما يحتوي من مكونات إلا أن الترشيح الميكروني(Micro Filtration) يفصل المواد العالقة فقط في حين أن الترشيح الدقيق(Ultra Filtration) و الترشيح المتناهي الدقة(Nano Filtration) و التناضح العكسي يمكنهما فصل العناصر الذائبة.لذا تسمى أحيانا عملية التناضح العكسي (Hyper Filtration) . و الجدول (٢) يوضح بعض الفروق بين عملية الترشيح و التناضح العكسي. و الجدول (٣) يوضح خصائص أغشية الترشيح المختلفة و مقارنتها بالتناضح العكسي.

جدول ٢ : الفرق بين الترشيح الدقيق و التناضح العكسي.

الترشيح	التناضح لعكسي
الضغط الأسموزي صغير جدا	الضغط الأسموزي مرتفع حسب ملوحة الماء
الملوحة لا تزداد مع الترشيح	الملوحة تزداد لفصل الماء العذب أثناء العملية
تفصل العناصر حسب حجمها	هناك عوامل أخرى تسبب عملية فصل الأملاح
تترسب العوالق المفصولة على الغشاء المرشح	يمر الماء العذب ويبقى المحلول الملحي
سريان عمودي على المرشح لفصل العناصر منه	سريان الماء المالح موازي للغشاء
الترشيح (حتى الدقيق) يحتاج لضغط منخفض (حتى ٥ بار)	يحتاج إلى ضغط مرتفع لأداء العملية (أكثر من عشرة أمثال الترشيح الدقيق)
لا يزيل إلا العناصر المذابة ذات الوزن الجزيئي المتوسط	يمكن إزالة العناصر ذات الوزن الجزيئي الصغير

الجدول ٣: خصائص أغشية التناضح العكسي و مقارنتها بالأغشية أخرى.

الطريقة	حجم مسام الأغشية (Å)	الضغط المستخدم رطل/بوصة^2	المواد الممكن فصلها	المواد المستخدمة في الصنع	شكل الأغشية
ترشيح رقيق Micro Filtration (MF)	٥٠- ٢٠٠٠	١٠- ٣٠	رواسب- غرويات	بولي سلفون Poly Salfone فلوروكربونات- كربون زجاج	أنبوبي Tubular
ترشيح فائق Ultra Filtration (UF)	1000 -10	٢٠- ٧٥	بروتينات و مواد عضوية ذات وزن جزئي عال	سيلولوزية/أكريليك بولي سلفون/سيراميك	أغشية لا تماثلية شعيرات جوفاء دقيقة
ترشيح متناهي Nano Filtration (NF)	٧- ١٠٠	٥٠- ١٥٠	أيونات ثنائية التكافؤ Ca^{++}/Mg^{++}	بولي اميدات اروماتية Arom. Polyamides مشتقات بولي فينيل الكحولية Polyvinyl Alcohol Derivatives	أغشية مستوية مركبة Flat Sheet Composites

تناضح عكسي Reverse Osmosis (RO)	١- ١٥	150-300 LP 350-600 St. Br 800-1200 Br	كل ما سبق مع الأيونات أحادية التكافؤ	أسيتات سيلواوز CA بولي اميدات أليفاتية Aliph.Polyamides بولي أميدات أوروماتية Arom. Polyamides بولي سلفرن Polysulfone بولي فيوران polyfuran	لا تماثلية مستوية Asymmetirie Fla مركبة مستوية Flat Composite لا تماثلية شعيرات جوفاء Asym.HFF

١-٧. مكونات وحدة التناضح لعكسي:

تتكون وحدة التناضح العكسي أساسا من مضخة ضغط مرتفع للحصول على ضغط أعلى من الضغط الأسموزي، بالإضافة إلى مجمع الأغشية. لكن أكثر تفصيلا تتكون من الأجزاء الأساسية التالية:

١- مكونات وحدة المعالجة الأولية لمياه التغذية(Pre-traitment Pump)،
٢- مضخة ذات ضغط عال(High Pressure Pump)،
٣- مجمع أغشية(Membrane Assembly (Modules)،
٤- مكونات وحدة المعالجة النهائية الأخيرةPost Treatment Unit (Final).

والشكل (٩) يبين وحدة تناضح عكسي ذات مرحلتين من مجمعات الأغشية. و المعالجة الأولية تعني تجهيز ماء التغذية لدخول مجمع الأغشية و ذلك بإزالة العوالق، ومنع ترسب الكائنات الحية و نموها على الأغشية (وهي مهمة جدا لأن مياه التغذية ستمر عبر الممرات الضيقة للأغشية، أثناء عملية فصل الماء العذب عن المحلول الملحي). كما تشمل المعالجة الأولية كل من عمليات ضخ ماء التغذية (خاصة للمياه العكرة)، و الترشيح و إضافة مركبات الكلور (مثل هيبوكلوريد الصوديوم) لقتل الأحياء الدقيقة بالماء ثم ترشيحها ثم إزالة الكلور الزائد (حتى لا يضر الأغشية) والترشيح الدقيق(Micro Filtration) وإضافة حامض أو مواد كيمياوية أخرى لمنع الترسيب.

ويتبع عملية المعالجة الأولية ضغط الماء المالح عن طريق مضخة ذات الضغط العالي (أعلى من الضغط الأسموزي) لتوفر الضغط اللازم لعبور الماء العذب من خلال الأغشية و حجز الأملاح. و هذا الضغط يتراوح ما بين ١٧- ٢٧ بار (ضغط جوي) لمياه الآبار و بين ٤٥- ٨٠ بار لمياه البحر (حسب ملوحة الماء و معدلات الإنتاج).

ويتكون مجمع الأغشية من عدد من أوعية الضغط(Pressure Vessel) ، و (الشكل(١٠) يبين أوعية الضغط و التي تحتوي على مجموعة من الأغشية شبه النفاذة (Semi Permeable Membranes)و هي مختلفة الأنواع و الأشكال و كذلك مواد التصنيع. كما تختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب و حجز الأملاح كما سبق بيانه. وليس هناك غشاء محكم إحكاما كاملا في طرد الأملاح بل ينفذ جزء ضعيف من الأملاح مع الماء خلال الأغشية، و لذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة بطريقة التناضح العكسي. ويمكن خفض ملوحة الماء المنتج باستخدام مرحلة ثانية(Second Stage) كما في الشكل (٩). و تصنع أغشية التناضح العكسي من أشكال مختلفة. وهناك شكلان شائعان تجاريا و هما اللوح الحلزوني، و الألياف/الشعيرات الدقيقة المجوفة(Hollow Fine Fibers) . لتحلية كل من مياه الآبار و مياه البحر على الرغم من اختلاف تكوين الغلاف الإنشائي ووعاء الضغط، وذلك اعتمادا على المصنع وملوحة الماء المراد تحليته. و تستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياه الآبار على نطاق واسع بينما تستخدم الأغشية ذات الضغط المرتفع في تحلية مياه البحار الأعلى ملوحة أما المعالجة النهائية فهي للمحافظة على خصائص الماء وإعداده بالمواصفات المطلوبة للاستخدام. و ربما شملت هذه المعالجة إزالة الغازات وتعديل درجة القلوية(Alkalinity) بضبط الرقم الهيدروجيني.

وبالإضافة إلى المكونات الأساسية السابقة يلزم للمحطة مصدر للطاقة الكهربية و مضخات مساعدة (لضخ ماء التغذية، و للماء المنتج، و الكيمياويات، و الرجيع المطرود)، و كذلك خزانات وأنابيب لمياه التغذية و الماء المنتج و ماء الرجيع و أجهزة القياس للمراقبة و المتابعة و التحكم و غير ذلك من المكونات المساندة (Auxiliary Components)لأي منظومة هندسية. وقد تكون المحطة ذات مرحلة واحدة أو ذات مرحلتين حسب التصميم. كما قد يوضع توربين مائي عند مخرج الوحدة للاستفادة من الضغط المتبقي بعد انتهاء عملية الفصل، واستعادة جزء من الطاقة (Energy Recovery) للمساعدة في إدارة مضخة الضغط العالي و توفير جزء من طاقتها المطلوبة و من ثم خفض تكاليف الإنتاج.

٨-١.- أهم عناصر تقييم أداء وحدة التناضح العكسي

يتم التقييم الأولي لعملية التحلية بالتناضح العكسي على عدة معايير منها:

١. إنتاجية الوحدة (متر مكعب في اليوم)،
٢. جودة الماء المنتج (ملوحته بجزء من المليون)، و نسبة طرد الملح،ونسبة استعادة الماء العذب من الماء المالح(Recovery Ratio) ،
٣. سعر الوحدة الابتدائي ،وتكلفة التشغيل والصيانة و من ثم تكلفة إنتاج المتر المكعب من الماء المنتج،
٤. ضغط وقدرة مضخة الضغط العالي
٥. معدل تغيير الأغشية...الخ.

ويمكن حساب معدل السريان لكل متر مربع من مساحة سطح الأغشية حسب الفرق بين ضغط التغذية وضغط الماء المنتج و الضغط الأسموزي (لكل من ماء التغذية و الماء المنتج).

١-٩. العوامل المؤثرة على أداء تشغيل تقنية التناضح العكسي

هناك عدة عوامل تؤثر على تشغيل وحدات التناضح العكسي مثل:

١. معدل سريان المحلول،
٢. درجة الحرارة،
٣. أداء هيكل الغشاء،
٤. تركيز المحلول و غير ذلك.

ويعتبر معدل سريان المحلول (Brine Flow)، والمحلول المطرود(Reject) من العوامل الهامة المؤثرة على جودة الماء المنتج و على أداء الغشاء. وهذه المعدلات عادة ما تحددها الجهة المصنعة. والسبب في أهمية هذا المعدل هو أن خروج الماء العذب من خلال الأغشية يترك بعض الأملاح أو المحلول الأشد تركيزا قرب سطح الغشاء و تحتاج هذه الأملاح إلى أن تكسح بعيدا عن السطح حتى لا تقلل معدلات خروج الماء العذب نتيجة زيادة فرق التركيز (مما يزيد من الضغط الأسموزي). وهذا يحتاج إلى زيادة معدل سريان المحلول لكن لحدود لا تؤثر في إتلاف الغشاء. وزيادة تركيز المحلول قرب أسطح الأغشية يزيد من الضغط الأسموزي ومن ثم يقلل من معدل خروج الماء العذب، مما يلزم زيادة ضغط المحلول. كما تزيد

أيضا من معدل خروج الملح مع الماء العذب، مما يقلل من الماء العذب. كما يؤثر تركيز الأملاح سلبا على أسطح الأغشية و على الأغشية نفسها. وقد تؤدي إلى سرعة إتلافها، وكذلك تسبب في ترسب هذه الأملاح على أسطح الغشاء و انسدادها.

وتؤثر درجة الحرارة أيضا على أداء الأغشية (تؤخذ درجة حرارة 25°C كمقياس في عملية التناضح العكسي). وزيادة درجة الحرارة قد تزيد من معدل خروج الماء العذب من الأغشية (نتيجة خفض اللزوجة للماء). إلا أن هذه الزيادة تقابلها زيادة في درجة تركيز المحلول مما يلزم رفع الضغط الأسموزي المقابل. وزيادة الضغط تؤثر على انضغاط الأغشية(Compaction)، مما يقلل من مرور الماء العذب. ومازالت التجارب العلمية مستمرة لمعرفة تأثير زيادة درجة الحرارة على أداء وحدة التحلية و الأغشية(Hdrolysis). ومن ناحية أخرى يلزم ضبط الرقم الهيدروجيني لماء التغذية و إلا أثر ذلك على الهيكل التركيبي الكيميائي لمواد الأغشية. ويزيد رفع درجة الحرارة من هذه الظاهرة.

١-٩. التقييم الفني والإحصائي لتقنية التناضح العكسي

أصبحت تقنية التناضح العكسي من التقنيات الناضحة (خاصة مع المياه خفيفة الملوحةBrackish water)، وهي تمثل حوالي ٣٦٪ من إنتاج الماء العذب للوحدات الصغيرة في العالم أكبر من ١٠٠ متر مكعب في اليوم، وحوالي ٢٥٪ للوحدات أكبر من ٥٠٠٠ متر مكعب في اليوم.
وتمتاز تقنية التناضح العكسي بارتفاع معامل التواجدية(Availability Factor)(نسبة عدد ساعات التواجد في الخدمة)، كما تمتاز باستخدام الطاقة الكهربية فقط و بمعدل من ٤- ٨ كيلووات ساعة/متر مكعب (حسب ملوحة مياه التغذية)،وتمتاز بسرعة بدء التشغيل و العمل عند درجات حرارة منخفضة مما تقلل من نسب التآكل و ترسب الأملاح. وتنتج هذه التقنية من ماء البحر ماء عذب بملوحة من ٤٠٠- ٥٠٠ جزء في المليون (حوالي ١٠٪ من ملوحة ماء التغذية)، ويمكن خفضها باستخدام مرحلة ثانية. كما يميز هذه التقنية مرونة السعات لإنتاجه للوحدات المختلفة من وحدات منزلية لإنتاج لترات محدودة في اليوم إلى محطات كبيرة لإنتاج ١٠٠- ١٥٠ ألف متر مكعب في اليوم. وتستخدم تقنية التناضح العكسي لإنتاج مياه الشرب و مياه الصناعة و غيرها و الجدول (٤) يلخص مميزات وخصائص هذه التقنية.

جدول ٤ : مميزات وخصائص تقنية التناضح العكسي

المميزات ١- تعمل عند درجات حرارة منخفضة، و هذا يقلل من التآكل والترسبات ٢- ملوحة الماء المنتج من تحلية ماء البحر من ٣٠٠- ٥٠٠ وهي تناسب مياه الشرب ٣- مرونة سعة الوحدات من عدة لترات إلى عشرات الآلاف من م^3/اليوم - تحتاج إلى طاقة كهربية فقط
العيوب: ١- معدل استهلاك الكهرباء: ٤(مياه آبار)- ٨(ماء بحر)ك.و.س/م^3 ٢- السعر الابتدائي للوحدة: ٨٠٠- ٢٤٠٠ دولار/(م^3/اليوم) ٣- سعر إنتاج الماء: ٠,٧٥- ١,٢٥ دولار/م^3 (حسب الملوحة، وسعة الوحدة) ٤- نسبة إنتاجها للماء عالميا: ٣٦٪ للوحدات أكبر من ١٠٠(م^3/اليوم) ٢٥ ٪ للوحدات أكبر من ٥٠٠٠(م^3/اليوم)

- المقارنة بين تقنية التناضح العكسي والتقنية الحرارية

الجدولين (٦)و(٧) يبينان مقارنة بين تقنيات التحلية الحرارية الثلاث و تقنية التناضح العكسي.

جدول ٦: مقارنة المميزات الأساسية للتكنولوجيات التجارية لتحلية مياه البحر

التكنولوجيا	المميزات
التبخر الومضي متعدد المراحل (MSF)	١- مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م^3 ٢- الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جدا ٥- ٢٥ جزء في المليون ٣- التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها للتشغيل والصيانة عالية ٤- يمكن بناء وحدات كبيرة السعة حتى ١٠^{5}م^3/اليوم ٥- التبخر بعيد عن سطح انتقال الحرارة ٦- التكنولوجيا بسيطة
التبخر متعدد التأثير (ME)	١- مكونات ماء التغذية (الملوحة) لا تؤثر على استهلاك الطاقة لكل م^3 ٢- الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جدا ٥- ٢٥ جزء في المليون ٣- التكنولوجيا ناضجة والعملية مستقرة والخبرة فيها و للتشغيل والصيانة عالية ٤- انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي إلى: ١. خفض نسب تكوين الرواسب و التآكل ٢. رفع قيمة الإتاحة و التواجدية ٣. استخدام مواد رخيصة الثمن
ضغط البخار (VC)	١- يحتاج فقط للطاقة الكهربية (MVC) ٢- الماء المنتج ذو ملوحة قليلة جدا ٥- ٢٥ جزء في المليون ٣- لا تحتاج إلى ماء تبريد لذا يمكن بناؤها بعيد عن مصدر كبير للماء ٤- من ابسط واكفأ التكنولوجيات ٥- انخفاض درجة الحرارة القصوى يؤدي الى: أ- خفض نسب الرواسب و التآكل ب- رفع قيمة الإتاحة و التواجدية ت- استخدام مواد رخيصة الثمن

التناضح العكسي (R.O)	١- لا يحتاج ماء التغذية إلى تسخين وهذا يقلل من التآكل و الترسبات ٢- ملوحة الماء المنتج من ٣٠٠- ٥٠٠ وهي مناسبة لماء الشرب ٣- مرونة سعة الوحدات(من ١٠٠لتر إلى ١٠^{٥}م^{٣}/اليوم حسب حجم و عدد الأغشية المستخدمة ٤- تحتاج فقط إلى طاقة كهربية، كما يمكن استعادة من ٢٥- ٣٥٪ من هذه الطاقة.

جدول ٧: مواصفات الأداء الأساسية لوحدات التحلية التجارية

العنصر	التبخر الومضي (MSF)	متعدد التأثير (ME)	ضغط البخار (VC)	التناضح العكسي (RO)
أقصى سعة الوحدة م^{٣}/اليوم	٧٠٠٠٠	٢٤٠٠٠	٥٠٠٠	١٠٠٠٠
معامل الأداء (كغ منتج/كغ بخار)	٧- ١٠	١٠- ١٥	لا يوجد	ل ايوجد
معدل استهلاك البخار م^{٣}بخار/م^{٣} ماء منتج	٨	١٢	لا يوجد	لا يوجد
معدل استهلاك الكهرباء ك و س/م^{٣} ماء منتج	٤	١,٨	٧- ٩	٤ (ماء آبار) ٨(ماء بحر)
سعر الوحدة دولار لكل م^{٣}/يوم	١٠٠٠- ٣٠٠٠	٥٠٠- ٢٠٠٠	١٥٠٠- ٣٠٠٠	٨٠٠- ٢٤٠٠
سعر إنتاج المتر مكعب من الماء (دولار/م^{٣})	٠,٥- ١,٥	٠,٥	٠,٥- ١	٠,٧٥- ١,٢٥
نسبة التواجد في العالم لوحدات اكبر من ٤٠٠٠م^{٣}/اليوم (٪)	٦٤	٣,٦	٢	٢٥,٧
نسبة التواجد في العالم	٤٨,١	٤	٣,٩	٣٥,٩

لوحدات اكبر من ١٠٠م^3/اليوم (٪)				

٢- الديلزة (الفصل أو الفرز) الكهربية((Electro-Dialysis (ED/EDR)

تتواجد الأملاح في المحلول الملحي على صورة أيونات (أي جزيئات صغيرة من عناصر الأملاح تحمل شحنة كهربية إما سالبة أو موجبة)، و لكن كل أيون مرتبط بالأيون الشريك بقوة جذب كهربي. فمثلا إذا ذابت كمية من ملح الطعام في الماء، تتفكك جزيئاته إلى جزأين (أيونين)، الأول هو أيون الصوديوم ويكون على صورة أيون موجب (Na^+) ويسمى كاتيون(Cation) و الثاني هو الكلوريد ويكون على صورة أيون سالب (Cl^-) ويسمى أنيون(Anion). الجدول (٨) يوضح بعض الأمثلة لأيونات الأملاح الذائبة في الماء.

جدول ٨: أمثلة لأيونات الأملاح الذائبة في الماء

أيونات Anions			كاتيونات Cations		
Cl^-	Chloride	الكلوريد	Na^+	Sodium	الصوديوم
$HCO3^{--}$	Bi-carbonate	البيكربونات	Ca^{++}	Calcium	الكالسيوم
$SO4^{--}$	Sulfate	السلفات	Mg^{++}	Magnesium	المغنسيوم
$NO3^-$	Nitrate	النيترات	K^+	Potassium	البوتاسيوم

٢-١ . خاصية التوصيل الكهربي للمحلول الملحي

يتميز الماء الذائب به أملاح (المحلول الملحي) بأنه جيد التوصيل للكهرباء، في حين أن الماء العذب (المقطر و بلا أملاح) رديء التوصيل للكهرباء. وتعتمد جودة المحلول الملحي في توصيله للكهرباء على كمية و نوعية الأملاح الذائبة، وكذلك على درجة حرارة المحلول. فيزداد التوصيل الكهربي مع زيادة نسبة الأملاح، كما تزداد مع زيادة أيونات الأملاح التي تحمل شحنات أكبر (++ أو - -)، كما تزداد أيضا مع ارتفاع درجة حرارة المحلول.

ويستخدم التوصيل الكهربي لقياس نسبة الملوحة في المحلول و يستخدم مقياس الميكرو موهو/سم- مقياس التوصيل الكهربي – هو عكس أوم مقياس المقاومة الكهربية. و يستخدم حديثا مقياس الميكرو سيمنز/سم.

٢-٢. عملية الديلزة الكهربائية

عرفت الديلزة الكهربية تجاريا منذ الستينيات (أي قبل التناضح العكسي). وقد وفر تطوير الديلزة الكهربائية أسلوب تكلفة فعال لتحلية المياه القليلة الملوحة (حتى ٢٠٠٠ جزء في المليون) مثل مياه آبار ومياه الصرف المالحة.

وعملية الديلزة الكهربائية هي عملية فصل الأملاح عن الماء كهربائيا، (لذا تحتاج العملية إلى مصدر كهرباء تيار مستمر(Direct Current-DC-). و تعتمد تقنية الديلزة الكهربائية على أن أغلب الأملاح الذائبة في ا لماء متأينة إيجابيا أو سلبيا. وهذه الأيونات تنجذب نحو القطب الكهربائي(Electrode) حسبما تحمله من شحنة كهربائية(Electric Charge). كما تعتمد على إمكانية إنشاء أغشية تسمح انتقائيا بمرور الأيونات حسب شحنتها الكهربائية (سلبا أو إيجابا).

إن محتويات الأيونات الذائبة في المحلول الملحي مثل لصوديوم (+)، الكلوريد (-)، الكالسيوم (++)، الكربونات (- -) - شكل (١١) - ، تظل منتشرة في الماء لتتولى معادلة شحناتها الخاصة. وعند توصيل الأقطاب الكهربائية إلى مصدر تيار خارجي (مثل البطارية) ، فإن الأيونات تتجه نحو الأقطاب الكهربية ذات الشحنات المعاكسة لشحناتها والموجودة في المحلول وذلك من خلال التيار الكهربائي الساري في المحلول سعيا وراء التحييد(Neutralization).

وليتم فصل الأملاح من المياه المالحة من خلال هذه الظواهر فإنه توضع مجموعة من الأغشية التي تسمح بمرور أيونات من نوع واحد فقط (وليس النوعين) - شكل (١٢)- . وتوضع عادة الأغشية بين القطبين الكهربائيين ويتم وضع هذه الأغشية بطريقة متعاقبة- أي غشاء واحد لانتقاء الأيونات ذات الشحنة الإيجابية ثم غشاء آخر لانتقاء الأيونات ذات الشحنة السلبية، مع وضع لوح فاصل بين كل غشاءين يسمح بانسياب الماء بين الغشاءين - شكل (١٣)- . و يشكل أحد اللوحين الفاصلين قناة تحمل مياه التغذية(Feed Water) و التي تتحول تدريجيا إلى المياه المنتجة(Product Water)، بينما يشكل اللوح الفاصل الآخر قناة تحمل مياه الرجيع(Reject)، الأكثر ملوحة. و حيث إن الأقطاب الكهربائية مشحونة، تنساب مياه التغذية المالحة عبر اللوح الفاصل و تنجذب الأيونات السالبة و تتجه نحو القطب الموجب، و تنجذب الأيونات الموجبة نحو القطب السالب، وهذا يؤدي إلى تخفيف تركيز أملاح قناة الماء المنتج. و تمر الأيونات المشحونة سلبيا من خلال الغشاء الانتقائي لها و لكنها لا تستطيع أن تمر خلال الغشاء الخاص بالأيونات الموجبة، و الذي يقفل خطها و تبقى الأيونات السلبية في الماء المالح (الرجيع). وبالمثل فإن الأيونات الموجبة تحت تأثير القطب السالب تتحرك في الاتجاه المعاكس من خلال الغشاء المنتقى للأيونات الموجبة إلى القناة ذات الماء المركز في الجانب الآخر، وهنا يتم اصطياد الأيونات

الموجبة، حيث إن الغشاء التالي ينتقي الأيونات السالبة ويمنع أي تحرك نحو القطب. و بهذا الأسلوب يتم إيجاد محلولين واحد مركز (ماء رجيع)، و الآخر قليل التركيز (الماء المنتج) بين الغشاءين المتعاقبين المتجاورين. وهذان الفراغان المحتويان من قبل الغشاءين يسميان خلية. و يتكون زوج الخلية من مسارين حيث يهاجر من إحداهما الأيونات (الخلية المخففة للمياه المنتجة) وفي الأخرى تتركز الأيونات (الخلية المركزة لمياه الرجيع) - شكل (١٣).

٣-٢. وحدة الديلزة الكهربائية

تتكون وحدة الديلزة الكهربائية، من الأجزاء الأساسية التالية - شكل (١٤):

١- مكونات نظام المعالجة الأولية،

٢- مضخة تدوير ذات ضغط منخفض

٣- مجمع الأغشية

٤- مكونات نظام معالجة نهائية.

هذا بالإضافة إلى مصدر إمداد طاقة كهربي للتيار المباشر(Rectefier)، ومواسير التوصيل، و نظم القياس و المراقبة و التحكم وخزانات مياه التغذية و المنتج و الرجيع و غير ذلك من المكونات و النظم المساعدة لأية منظومة هندسية - الشكل (١٥).

ويتكون مجمع الأغشية (شكل ١٤) من عدة مئات من أزواج الخلايا، مربوطة مع بعضها البعض بأقطاب كهربائية تسمى مجمع الأغشية(Membrane Stack). وتمر مياه لتغذية محاذية في آن واحد عبر ممرات من خلال الخلايا لتوفير انسياب المياه المنتجة و المحلاة كما يمر الماء المركز من المجمع. واستنادا على تصميم الوحدة فانه يمكن إضافة بعض المواد الكيميائية في المجمع لتخفيف الجهد الكهربائي، ومنع تكوين القشور و الترسبات على أسطح الأغشية.

ويعتبر مجمع الأغشية (مجمع الخلايا) هو قلب وحدة الديلزة الكهربية، و يتكون من قطبين كهربيين يفصل بينهما عدد كبير من الخلايا (من ٣٠٠ إلى ٥٠٠ خلية). وتتكون كل خلية من غشاءين أحدهما موجب (يسمح بمرور الأيونات الوجبة فقط)، ثم فاصل لمرور المحلول- ماء التغذية- ، ثم الغشاء الآخر وهو سالب (يسمح بمرور الأيونات السالبة فقط)، ثم فاصل لمرور المحلول المركز- ماء الطرد أو الرجيع- . الشكلان (١٦) و (١٧) يبينان نماذج للأغشية و للفواصل التي بينها لمجمع ديلزة كهربي.

ومثل معظم وحدات التحلية، يجب معالجة مياه التغذية منذ البداية لحجز المواد التي تسد الأغشية، أو تسد قنوات المياه الضيقة في الخلايا من الدخول إلى مجمع الأغشية. و يتم ذلك من خلال مروقات و مرشحات (رملية و خرطوشية دقيقة)، وإضافة مركبات االكلور لقتل الأحياء الدقيقة و ترشيحها ،وإضافة بعض الكيمياويات لمنع تكون الترسبات و منع التآكل. كما يتم تدوير مياه التغذية من خلال المجمع بواسطة مضخة ذات ضغط منخفض للتغلب على مقاومة سريان المياه أثناء عبورها للممرات الضيقة.

وتشمل المعالجة النهائية (الأخيرة) تجهيزه الماء المنتج بالمواصفات المطلوبة للاستخدام والتوزيع، و التي ربما تتضمن إزالة الغازات مثل سلفايد الهايدروجين، أو تعديل درجة الحامضية بضبط الرقم

الهيدروجيني و غالبا ما يركب مقوم لتحويل التيار المتردد (المتذبذب) إلى تيار مستمر يتم تزويده للأقطاب من خارج مجمعات الأغشية.

٤-٢. عناصر مياه التغذية المؤثرة على أداء وحدات الديلزة الكهربائية

إن نوعية مياه التغذية ذات أهمية في التأثير على وحدة التحلية بالديلزة الكهربية، وكذلك على مواصفات الماء المنتج. إذا كان هنالك اختلاف بين مياه التغذية الفعلية، و المياه التي صممت عليها الوحدة لا بد أن نتوقع تغيير في نوعية المياه المنتجة. ومن العناصر المؤثرة على أداء الوحدة هي:

درجة حرارة مياه التغذية

تؤثر درجة الحرارة على كل من كفاءة التشغيل للوحدة، وعلى نوعية الماء المنتج، بصفة عامة، فكلما انخفضت درجة حرارة مياه التغذية، كلما زادت نسبة الأملاح الذائبة في الماء المنتج. وتتراوح أنسب درجات حرارة مياه التغذية بين ٢٧- ٤٥ درجة مئوية.

الحديد

وجود الحديد بنسبية أعلى من ٠,١ جزء في المليون، يسبب مشاكل لعملية الإنتاج مثل ترسب طبقة (برتقالية ملونة) على سطع الغشاء، يزيد من المقاومة الكهربية على أغشية الخلية، ومن ثم على الجهد و التيار ومعدل استهلاك الوحدة للطاقة الكهربية. وقد يكون مصدر الحديد هو ماء التغذية وأنابيب و صهاريج مياه التغذية. فإذا زادت نسبة الحديد عن ٠,٣ جزء في المليون، يجب الاهتمام بمعالجته قبل دخول الوحدة أثناء التشغيل كما يجب غسل الوحدة أثناء التشغيل بالحامض((Clean in Place (CIP) دوريا.

أ. المواد العضوية

يجب خلو مياه التغذية من أي مواد عضوية أو بكتيريا فكل منها له تأثير سلبي على وحدة التحلية وكذلك المكونات المساعدة بالوحدة.

ب. الرقم الهيدروجيني

تأثير الرقم الهيدروجيني ذو أهمية ثانوية على الوحدة من حيث عملية التشغيل، إلا أن تأثيره الأوضح يظهر في صورة التآكل لمكونات الوحدة.

ت. عناصر أخرى

لا يجب تشغيل الوحدة إذا وجد في مياه التغذية أي من:

- كلور متبقي أي تركيز
- كبرتيد الهيدروجين أي تركيز
- كالجون ارهدكساميتا فوسفات أكثر من ١٠ جزء في المليون
- منجنيز أكثر من ٠,١ جزء في المليون
- حديد أكثر من ٠,٣ جزء في المليون

٢-٥. **الديلزة الكهربية المعكوسة**(Electro-Doalysis Reverse (EDR))

ظهرت في السبعينات عملية الديلزة الكهربية المعكوسة على أساس تجاري. وتقوم وحدة الديلزة الكهربية المعكوسة عموما على نفس الأسس التي تقوم عليها وحدة الديلزة الكهربائية، غير أن كلا من قناتي الماء المنتج و الماء المركز متطابقتان في التركيب الإنشائي. وعلى فترات متعددة من الساعة الواحدة (بين ١٥ و ٢٠ دقيقة) تنعكس قطبية الأقطاب الكهربية، وعليه ينعكس الانسياب آنيا بحيث تصبح القناة المنتجة هي قناة المياه المركزة، وقناة المياه المركزة هي قناة المياه المنتجة. و النتيجة هي أن الأيونات تنجذب في الاتجاه المعاكس عبر مجمع الأغشية. وبمجرد انعكاس القطبية والانسياب فإن كمية وافية من المياه المنتجة تطرد حتى يتم غسيل خطوط مجمع الأغشية ويتم الحصول على نوعية المياه المرغوبة. و تستغرق عملية الغسيل هذه ما بين ١- ٢ دقيقة ثم تستأنف عملية إنتاج المياه. و يفيد انعكاس العملية في تحريك و غسيل القشور و المخلفات الأخرى في الخلايا، قبل تراكمها و تسببها لبعض مشكلات التشغيل (كانسداد الأغشية مثلا). و الغسيل يسمح للوحدة بالتشغيل بقليل من المعالجة الأولية ويقلل اتساخ الأغشية، وكذلك ثم ينخفض معدل استهلاك الكهرباء ومن تكاليف إنتاج المتر مكعب من الماء العذب.

٢-٦. محطة الديلزة الكهربية

الشكل (١٨) يوضح نموذج لوحدة ديلزة كهربية عاملة (سعة ٢٠٠٠ متر مكعب في اليوم) لمعالجة مياه النهر المرتفعة الملوحة. وكما مبين بالشكل، يتم ضخ مياه التغذية (بعد حجز الشوائب و العوالق الكبيرة من خلال شبكات و مصافي) عن طريق مضخات إلى خزانات الترويق. يتم حقن كبريتات الألومنيوم (الشبه) السائلة للمساعدة في عملية الترويق. يخرج الماء الرائق بعد حقنه بالكلور إلى مجموعة من المرشحات الرملية(sand Filters) لحجز العوالق الصغيرة ومنها إلى المرشحات الخرطوشية (Cartridge Filters)لحجز العوالق الدقيقة والأحياء المائية الميتة. يدخل الماء المرشح بعد ذلك إلى وحدة الديلزة الكهربية لفصل الأملاح عنها (يخرج الماء المنتج عادة بنسبة أملاح من ١٠ ٪ إلى ١٥٪ من ملوحة ماء التغذية). و يوضع الماء المنتج في خزانات الماء المنتج لحين الحاجة إلى سحبه للاستخدام.

٢-٧. مميزات تقنية الديلزة الكهربية

تتميز تقنية الديلزة الكهربية ببعض الخصائص التي يمكن تلخيصها فيما يلي:

١. المقدرة على الاستخلاص العالية للأملاح (كثير من المياه المنتجة وقليل من مياه الرجيع)
٢. تتناسب كمية الطاقة مع كمية الأملاح المزالة
٣. القدرة على معالجة المياه التي تحتوي على عوالق أكثر مقارنة مع التناضح العكسي
٤. عدم التأثير بالمواد غير المؤينة مثل السيليكا

جدول ٩- بعض الميزات الأساسية لتقنية الديلزة الكهربائية

العنصر	القيمة
استعادة الماء	حتى ٩٠ ٪
إزالة الملوحة	حتى ٩٥ ٪
ملوحة ماء التغذية	حتى ١٢٠٠٠ جزء في المليون
ملوحة ماء المنتج	١٠ ٪ من ملوحة ماء الدخول (حتى ١٠ جزء في المليون)
تحمل درجة الحرارة	حتى ٥٥ درجة مئوية
نسبة الكلور في ماء التغذية	حتى ٣ جزء في المليون
الرقم الهيدروجيني في ماء التغذية	من ١ إلى ١٠

جدول ١٠- مقارنة عملية إعذاب الماء بالتناضح العكسي و الديلزة الكهربية

عنصر المقارنة	التناضح العكسي	الديلزة الكهربية
ميكانيكية الإعذاب	ضخ المياه المالحة تحت ضغط مرتفع بواسطة مضخة لينفذ الماء العذب خلال الغشاء	تسليط تيار مستمر ليمرر الأيونات الذائبة خلال غشاء فرز انتقائي لتقل مكونات الماء المالح من الأملاح
فرق الجهد	طاقة كهربائية لتشغيل المضخة	طاقة كهربائية- تيار مستمر
نظام التشغيل	تشغيل ذاتي، بزر تشغيل وصمامات معدة فتحاتها من قبل	تشغيل ذاتي لكن بدء التشغيل معقد لضرورة عمل اتزان في كميات المياه السارية
متطلبات	فصل العوالق المتجمعة	فصل العوالق

المعالجة الأولية	و المعلقة في الماء	المتجمعة و المعلقة في الماء و المواد العضوية لأن جميع المواد غير المؤينة لا يمكن فصلها خلال الأغشية
تكلفة التشغيل	تقريبا متساويا	تقريبا متساويا
تغيير الأغشية	خفيف و سهل التغيير كنماذج متكررة	صعب و يتطلب مهارة خاصة
ملوحة مياه التغذية	مياه الآبار حتى١٠٠٠٠ أو مياه البحر حتى ٤٠٠٠٠ جزء في المليون	مياه متوسطة الملوحة ١٠٠٠٠ جزء في المليون

٥. استخدام كميات ضئيلة من المواد الكيميائية في عملية المعالجة الأولية.

وتستخدم وحدات الديلزة الكهربائية عموما لتحلية مياه الآبار خفيفة الملوحة وعادة حتى ٢٠٠٠ جزء في المليون (إلا أن الشركات المصنعة تتحدث عن إمكانية استخدامها حتى ١٢٠٠٠ جزء في المليون). أما متطلبات ا لطاقة الرئيسة تتمثل في التيار المباشر لفصل المواد المتأينة في مجمع الأغشية. وقد ثبت نضوج هذه التقنية. وتتراوح سعة الوحدات من ١٠ إلى ٤٠٠٠ متر مكعب في اليوم. والعمر الافتراضي للأغشية حتى ١٠ سنوات كما لا تحتاج لضغوط مرتفعة. و الجدول (٩) يوضح بعض الخصائص الأساسية لهذه التقنية، و التي تعلن عنها شركات إنتاج الديلزة الكهربية.

٢٢-٨. المقارنة بين الديلزة الكهربية و التناضح العكسي

الجدول (١٠) يبين مقارنة بين كل من عملتي الديلزة الكهربية و التناضح العكسي.

التبادل الأيوني (Ion Exchange)

١- تقنية التبادل الأيوني

كما سبق ذكره ، عندما تذوب الأملاح في الماء، تنفصل مكوناتها المركبة الى أيونات سالبة وأيونات موجبة. و المبادل اليوني عبارة عن مجمع يحتوي على مواد راتنجي مسامية خاصة تسمى (Resin)، لها القدرة على تبادل بعض الأيونات بها مع أيونات المحلول المتواجدة فيه هذه المواد، و لذا تسم المبادلات الأيونية. وتبادل هذه المواد الراتنجية (الرزين Resin) جزء من أيوناتها الموجبة مع الأيونات الموجبة للأملاح وتسمى بذلك بالمبادل الموجب (Cations). أوتبادل هذه المواد جزء من أيوناتها السالبة مع اليونات السالبة للأملاح، و تسمى المبادل السالب (Anoins)، (شكل (١)).

وعندما يمر محلول ملحي على المبادل السالب فإن المحلول يبادل أيوناته السالبة مع الأيونات السالبة بالمبادل. وبالمثل عندما يمر المحلول على المبادل الموجب فإن المحلول يبادل أيوناته الموجبة مع الأيونات الموجبة بالمبادل. والمبادل الأيوني يحتوي على مجموعات متوالية من هذه المواد لإمتصاص الأيونات غير المرغوب فيها وتبادلها مع أيونات أخرى مرغوب فيها.